Aus der Medizinischen Klinik der Universität Tübingen
Direktor: Professor Dr. Dr. h. c. H. E. Bock

Die akute Wirkung des thermisch indifferenten Kohlensäure-Wasser- und Kohlensäure-Gasbades auf Blutdruck und Pulsfrequenz

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrades
der Medizin
einer Hohen Medizinischen Fakultät
der Eberhard-Karls-Universität
zu Tübingen

vorgelegt von
Gisela Traub
aus Aalen

1969

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41543901_0034

Aus der Medizinischen Klinik der Universität Tübingen
Direktor: Professor Dr. Dr. h. c. H. E. Bock

Die akute Wirkung des thermisch indifferenten Kohlensäure-Wasser- und Kohlensäure-Gasbades auf Blutdruck und Pulsfrequenz

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrades
der Medizin
einer Hohen Medizinischen Fakultät
der Eberhard-Karls-Universität
zu Tübingen

vorgelegt von
Gisela Traub
aus Aalen

1969

UNIV.
LEIDEN
BIBL.

Dekan: Professor Dr. J. Hirschmann

1. Berichterstatter: Privatdozent Dr. M. Franke
2. Berichterstatter: Professor Dr. Dr. h.c. H.E. Bock

FOTODRUCK PRÄZIS Barbara v. Spangenberg KG · Tübingen

Meinen Eltern in Dankbarkeit

INHALTSVERZEICHNIS

		Seite
A.	Einleitung	1
B.	Methodik	6
	1. Untersuchungsgut	6
	2. Versuchsanordnung	7
C.	Ergebnisse	12
	I. Normotoniker	12
	II. Labile Hypertoniker	22
	III. Fixierte Hypertoniker	32
D.	Statistik	40
E.	Diskussion	47
	I. Bisherige Untersuchungen	47
	II. Zusammenfassung eigener Ergebnisse	48
	III. Vergleich der CO_2-Wasser- mit CO_2-Gasbädern	52
	IV. Vergleich unserer Ergebnisse mit denjenigen anderer Autoren	55
F.	Zusammenfassung	62
G.	Literatur	64

A. EINLEITUNG

Von den Beimengungen der Mineralbäder hat die Kohlensäure als therapeutisches Mittel zur Behandlung von Herz- und Kreislauffunktionen eine ganz besondere Bedeutung erlangt.

Die ersten Untersuchungen über die Wirkungsweise von Kohlensäurebädern gehen auf BENEKE (1872) zurück, der den Effekt eines Bades mit einer "schwachen Digitalisierung" verglich. SCHOTT prägte 1883 den Satz von "der Turnstunde des Herzens", einer vorsichtigen Anregung des Herzens zu vermehrter Tätigkeit (65).
Seitdem haben zahlreiche Autoren den Einfluß von Kohlensäurebädern auf Herz- und Kreislauferkrankungen untersucht. Die durch klinische Erfahrungen gewonnenen Erkenntnisse wurden durch grundlegende wissenschaftliche Forschungen belegt. Es sollen die Daten, die bisher über den Wirkungsmechanismus von kohlensäurehaltigen Bädern bekannt sind, beschrieben werden.

Bei der therapeutischen Anwendung von Kohlensäurebädern müssen, neben unspezifischen Einflüssen, drei verschiedene, auf den Gesamtorganismus einwirkende Faktoren berücksichtigt werden:

1. ein mechanischer
2. ein thermischer

und 3. ein chemischer Faktor.

Durch die mechanische Komponente kommt es zu einer wesentlichen hämodynamischen Umstellung im Körper, die derjenigen im Süßwasserbad entspricht. Der hydrostatische Druck wirkt an den Kapillaren und Venen des Bauchraumes und der unteren Extremitäten - Gefäßen mit dünnem Wandbau und starker Deformierbarkeit. Ihr Querschnitt wird verkleinert und dadurch der Rückfluß zum Herzen vergrößert. Es resultiert also eine Volumenverschiebung aus dem extrathorakalen in den intra-

thorakalen Bereich des Niederdrucksystems. Diese Rückflußsteigerung führt zu einem Anstieg des zentralen Venendruckes (14). Daneben kommt es durch die Hydrostatik zu einer Zunahme des intrathorakalen Druckes, der beim Menschen bis zu 5 cm H_2O ausmacht (42, 21).

Durch die spezifische Kohlensäurewirkung auf den peripheren Kreislauf werden für diese vermehrte Rechtsherzbelastung im Kohlensäurebad aber wesentlich günstigere Voraussetzungen geschaffen als in einem reinen Süßwasserbad.

Die Resorption von Kohlensäure durch die Haut wurde von KRAMER und SARRE (39) und HAEUSSLER (28) quantitativ bestimmt. Nach ihren Messungen dringen 30 ccm CO_2 pro Minute und pro m^2 Körperoberfläche bei einer normal durchbluteten Haut ein. Es ist als gesichert anzunehmen, daß es zu einem sofortigen Abtransport des gesamten in die Haut eingedrungenen CO_2 kommt (87).

Neuere Untersuchungen von FRANKE und DÜRR (16) über das Verhalten des Säure-Basenhaushaltes im Blut unter dem Einfluß von Kohlesäurebädern haben aber gezeigt, daß die Resorption der Kohlensäure zu keiner Verschiebung der aktuellen Wasserstoffionenkonzentration führt. Auch das PCO_2 bleibt unverändert. Das Puffersystem des Blutes verhindert hier das Zustandekommen einer Azidose. Aus dem Gleichbleiben des Standardbikarbonats konnte geschlossen werden, daß keine stärkere Beanspruchung dieses Puffersystems stattfindet.

Durch eine spezifische Wirkung der Kohlensäure werden die Reizschwellentemperaturen für die Kalt- und Warmreceptoren gesenkt, d.h. die Empfindlichkeit für die Kaltpunkte wird erniedrigt und gleichzeitig die Erregbarkeit der Warmpunkte gesteigert. So treten auch noch im relativ kühlen Kohlensäurebad Wärmeempfindungen auf und die Thermoindifferenzzone liegt mit 31 - 34° C deutlich unterhalb der von Süßwasserbädern (61, 7). Trotz des subjektiven Wärmegefühls kommt es im indifferenten Kohlensäurebad infolge der erhöhten Wärmeabgabe zu einem Abfall der Körpertemperatur um maximal 1° C (48, 87).

Die wichtigste physiologische Wirkung von Kohlensäurebädern ist die erhebliche periphere Kreislaufumstellung ohne thermische Reize und damit ohne

wesentliche Mehrbelastung des Herzens. Die lokale Wirkung der Kohlensäure zeigt sich in einer Hautrötung, die streng auf die gebadeten Körperstellen beschränkt ist. Ihr liegt mikroskopisch eine Erweiterung der Kapillaren, Arteriolen und venösen Plexus der Haut zugrunde. Leere Kapillaren und arteriovenöse Anastomosen werden eröffnet, die Blutströmung ist beschleunigt. Die Durchblutung kann unter diesen Bedingungen bis über 600 % über dem Ausgangswert liegen (39, 1, 20 u.a.). Vermutlich wird der Gefäßreiz humoral durch freigesetzte vasoaktive Stoffe (Acetylcholin, Histamin oder verwandte Substanzen) ausgelöst (24, 8, 62, 87). Gefäßerweiterungen dieses Ausmaßes führen zu einer Verminderung des peripheren Widerstandes im Körperkreislauf und damit zu einer Abnahme des arteriellen Druckes. Durch Eigenreflexe, die an der Selbststeuerung des Kreislaufes beteiligt sind, werden die Blutumlagerungen im Kreislauf ausgeglichen und übermäßig starken Schwankungen des Blutdruckes entgegengewirkt (23).

Im Kohlensäure-Bad nimmt das Herzminutenvolumen zu, die Pulsfrequenz sinkt entsprechend der herabgesetzten Körpertemperatur ab, so daß eine Vergrößerung des Schlagvolumens resultiert (3, 41, 73).

Im thermoindifferenten Kohlensäurebad kommt es aber zu einer Umstellung der Herzarbeit, so daß das Mehrangebot unter energetisch günstigen Umständen bewältigt werden kann:

a) bei langsamer Herzfrequenz

b) gegen einen dehnbareren Windkessel

c) bei herabgesetztem Gesamtwiderstand (32)

Diese vermehrte Volumenleistung bei verminderter Druckleistung ist in energetischer Hinsicht ein beachtenswerter Faktor und beruht auf einer ganz spezifischen Wirkung des indifferenten Kohlensäurebades. Durch keine andere Maßnahme kann ein so starker peripherer Effekt unter Schonung des Herzens erreicht werden (21, 87). GOLLWITZER-MEIER (21) hat in diesem Zusammenhang von einer "Ökonomisierung der Herzarbeit" und HILDEBRANDT und GEHLKEN (35) von der "Arbeit des Herzens im Schongang" gesprochen.

Bei der therapeutischen Anwendung von Kohlensäurebädern wird die ther-

mische Komponente im allgemeinen durch Einhaltung der Indifferenztemperatur von vornherein ausgeschaltet. Die Sonderstellung des Kohlensäurebades in der Kreislaufumstellung besteht ja darin, daß, verglichen mit dem warmen Bad, auch bei Thermoindifferenz eine gleich starke Kapillarisierung ohne den belastenden Effekt eines stärkeren Antriebs des Gesamtkreislaufes erreicht wird.

Aus diesen Wirkungen der Kohlensäure auf den Gesamtorganismus lassen sich Indikation und Kontraindikation einer Kohlensäure-Badebehandlung zum großen Teil erklären. GOLLWITZER-MEIER (21), DIRNAGL (6), HILDEBRANDT (35) u.a. berichten über gute Ergebnisse bei bestimmten Herz- und Kreislauferkrankungen. FRANKE (15) hält Kohlensäurebäder bei labiler, essentieller Hypertonie, leichter Koronarinsuffizienz, leichter Herzklappeninsuffizienz ohne wesentliche hämodynamische Auswirkung, symptomlos abgeheilter Myocarditis und bei vegetativer Dystonie für indiziert. HEDIGER (29), GOLLWITZER-MEIER (24) und PARADE (56) beschrieben erfolgreiche Behandlung peripherer Durchblutungsstörungen und HILLER (35) betont die gute Beeinflussung bei Gelenk- und Muskelrheumatismus.
Die Steigerung des zentralen Venendruckes mit der Erhöhung des Blutangebotes an das rechte Herz bedingen die Kontraindikation balneotherapeutischer Maßnahmen bei allen dekompensierten Herzerkrankungen und Klappenstenosen. Kontraindiziert sind ferner alle aktiv entzündlichen Erkrankungen am Endo-, Myo- und Pericard, Herzinfarkt und Apoplexie vor ihrer Konsolidierung und Hypertension bei schwerem Nierenschaden (54, 15).

Die Angaben in der Literatur über das Verhalten des Blutdruckes in Kohlensäurebädern sind sehr verschieden. Die Befunde reichen von Abfall des arteriellen Druckes (STRASBURGER (71), BISCHOFF und PAETSCH (2), HERKEL (32), OTT und HENTSCHEL (54), HORNBACHER (37), WEBER (79) u.a.) über keine eindeutige Änderung (BORNSTEIN, BUDELMANN und RÖNELL (3), GROEDEL und Mc CELLAN (27) bis zu Druckanstieg (MÜLLER (52), GROEDEL (26)).

Wir haben uns die Aufgabe gestellt, die akute Wirkung des thermisch

indifferenten Kohlensäure-Wasser - und Gasbades auf den Blutdruck von

a) Normotonikern

b) labilen Hypertonikern

c) fixierten Hypertonikern

zu untersuchen.

Die Messungen im Kohlensäure-Wasserbad wurden jeweils an denselben Patienten wie im Kohlensäure-Gasbad vorgenommen, so daß jeder Patient also ein Kohlensäure-Wasserbad und zu Vergleichszwecken ein Kohlensäure-Gasbad erhielt.

1. Dadurch sollten erstmalig Vergleichsmöglichkeiten gewonnen werden über die Wirkung des Kohlensäure-Wasserbades und derjenigen des Gasbades auf den Blutdruck der gleichen Patienten.
2. Es sollten Vergleiche gezogen werden zwischen den Blutdruckreaktionen in Kohlensäurebädern bei Normotonikern, labilen Hypertonikern und fixierten Hypertonikern.

B. METHODIK

1. Untersuchungsgut

Die Untersuchungen wurden an insgesamt 35 Versuchspersonen vorgenommen. Das Alter der Patienten lag zwischen 16 und 66 Jahren; die Geschlechtsverteilung betrug 6 weibliche zu 29 männlichen Probanden.

Die Versuchspersonen wurden nach ihrem Blutdruckverhalten in drei Gruppen aufgeteilt:

1. Normotoniker
   (s. Tab. I)
   Zunächst wurde eine Versuchsreihe an 15 herz- und kreislaufgesunden Patienten mit normalen Blutdruckwerten durchgeführt.

2. Hypertoniker
   die nach folgenden Gesichtspunkten
   Augenhintergrund-Befund
   Nierenbefund
   Höhe des diastolischen Druckes
   unterteilt wurden in

   a) labile essentielle Hypertoniker (9 VP)
      (s. Tab. II)

   und b) fixierte Hypertoniker (11 VP)
      α) fixierte essentielle Hypertoniker
      β) primär renale Hypertoniker
         (s. Tab. III)

2. Versuchsanordnung

Die Verabreichung künstlicher Kohlensäure-Gasbäder erfolgte in der Kunststoff-Gasbadewanne der Firma Knoll & Co., Schongau. Die Wannentemperatur wird mittels Wasserdampf und Thermostat auf die gewünschte Höhe eingestellt.
Zubereitung des flüssigen Kohlensäurebades: Einfüllen von heißem Wasser in die Badewanne bis auf etwa 1/3 Wannenhöhe. Zuleitung von in kaltem Wasser gelöster Kohlensäure (Herstellung im Mischapparat) bis die gewünschte Temperatur erreicht wird. Der Gehalt des Badewassers betrug 1100 - 1200 mg freie Kohlensäure pro Liter.

Zur fortlaufenden Blutdruckmessung und Pulsfrequenzregistrierung wurde das Gerät CUSTOCOR CM 4 der Firma Vogel, Gießen, entwickelt von Prof. v. Uexküll, verwandt. Die Druckmessung erfolgt nach dem Prinzip von Riva-Rocci. In wählbaren Zeitintervallen wird vollautomatisch eine am Oberarm befestigte Blutdruckmanschette aufgepumpt. Bei gleichmäßig fallendem Manschettendruck registriert ein über der Brachialarterie angebrachtes Mikrofon die Korotkoff-Töne. Über elektrische Impulse wird dabei ein Schreibhebel in Bewegung gesetzt, der auf ein Registrierpapier den jeweils herrschenden Druck durch einen Punkt markiert. Gleichzeitig wird die Herzfrequenz aufgezeichnet.

Die Untersuchungen wurden täglich zur gleichen Zeit, von 9 - 11 Uhr, durchgeführt. Der Baderaum war frisch belüftet, die Raumtemperatur lag bei 22 - 24° C. In der betreffenden Abteilung wurde für möglichste Ruhe gesorgt, um alle exogenen Einflüsse auszuschalten.

Jeder Patient kam an drei aufeinanderfolgenden Tagen zur Untersuchung.

1. Tag: Vorversuch

Am ersten Tag wurden nur die Blutdruckschwankungen während des Zeitraumes, in dem an den beiden folgenden Tagen die Bäder durchgeführt werden sollten, kontrolliert. Der Patient lag 1 Stunde 45 Minuten auf

einem Untersuchungsbett in demselben Raum, in dem später die Badeversuche stattfanden. Der Blutdruck wurde fortlaufend alle drei Minuten gemessen.

Bei jeder Messung wurde ermittelt:

1. P_s = systolischer Druck
2. P_d = diastolischer Druck
3. Blutdruckamplitude. Sie wird durch den Maximaldruck (P_s) und den Minimaldruck (P_d) begrenzt.
4. P_m = der arterielle Mitteldruck wurde nach der von GAUER angegebenen Formel aus den Werten P_s und P_d berechnet:

   $$P_{m\ brach.} = P_d + 1/3\ (P_s - P_d)$$

5. Pulsfrequenz.

2. Tag: Flüssiges Kohlensäurebad

Während der 45 Minuten dauernden Vorperiode ruhte der Patient, in eine Wolldecke gehüllt, auf einer Liege. Im Abstand von 3 Minuten wurde der Blutdruck gemessen und die Pulsfrequenz registriert. Das Ruhebett stand direkt neben der Badewanne. Um störende Einflüsse auf den Blutdruck durch das Einsteigen in die Wanne möglichst gering zu halten und abrupte Wirkungen, die zu akuter Mehrbelastung des Herzens oder zu einem Kreislaufkollaps führen könnten (69), zu vermeiden, wurde der Patient angewiesen, sich sehr langsam und ohne große Körperanstrengung in das vorbereitete Bad gleiten zu lassen. Der Kranke sollte ruhig und entspannt liegen und sich nicht unnötig bewegen, um einerseits eine unerwünschte Steigerung der Herzarbeit zu vermeiden und andererseits ein vorzeitiges Entweichen der Kohlensäure zu verhindern.

Um eine Anpassung an die unterschiedliche Verträglichkeit bei den verschiedenen Konstitutionstypen und bei den verschiedenen Krankheitsformen zu erreichen, bestehen im Kohlensäure-Wasserbad in der Hauptsache vier Dosierungsmöglichkeiten: (51, 69)

1. CO_2-Gehalt des Badewassers
2. Höhe des Wasserspiegels
3. Dauer des Bades
4. Wassertemperatur

Um das Verhalten der einzelnen Versuchspersonen im Bade vergleichen zu können, mußten aber konstante Bedingungen vorausgesetzt werden, so daß wir uns bei der Badeanordnung an konstante mittlere Werte hielten (51).

Für unsere Versuche galten folgende Bedingungen:

1. Der Gehalt des Wassers an freier CO_2 betrug 1100 - 1200 mg/l. Nach Beendigung des Bades lag der CO_2-Gehalt immer noch zwischen 990 und 1050 mg/l (Bestimmung durch Titration). Eine Konstanz des chemischen Grundstoffes war somit gewahrt.
2. Die Untersuchungen wurden bei 3/4 Wannenfüllung durchgeführt.
3. Die Badedauer betrug 20 Minuten.
4. Die Temperatur ist für die Wirkung des Bades von so großer Bedeutung, daß sie streng indifferent gehalten werden mußte, um temperaturbedingte Einflüsse auf den Blutdruck von vornherein auszuschließen (77). Die Indifferenzzone bei CO_2-gesättigtem Wasser, d.h. der Bereich, in dem an den Thermoreceptoren weder eine Warm- noch eine Kaltempfindung zu beobachten ist, liegt für Kohlensäure-Wasserbäder zwischen 31 und 34° C (1, 7).
   Bei allen unseren Patienten betrug die Badetemperatur 32° C.

Während des Bades wurden alle 2 Minuten Bludruck- und Pulsmessungen durchgeführt. Um bei allen Blutdruckmessungen die gleiche Armstellung zu erreichen, ruhte der betreffende Arm während des Bades bequem in Herzhöhe auf einem an der Badewanne angebrachten Brett. Die Manschette blieb während des ganzen Versuchsablaufes angelegt, um Fehlermöglichkeiten durch erneutes Anlegen des Mikrofons auszuschalten.

Nach dem Bad wurde der Patient mit vorgewärmten Tüchern abgetrocknet und legte sich zu der 45 Minuten dauernden Nachperiode, in der wieder

alle 3 Minuten der Blutdruck gemessen wurde, auf das Ruhebett (s. S. 11).

Alle Patienten empfanden das Bad angenehm; es wurde auf Befragen keinerlei Beschwerden angegeben. Bei vier Patienten mit labiler essentieller Hypertonie kam es kurz nach dem Einsteigen in das Bad zu einem Nachlassen der Kopfschmerzen und des unangenehmen Druckgefühls im Kopf (spontane Angaben).

3. Tag: Gasförmiges Kohlensäurebad

Verlauf der Vor- und Nachperiode wie am 2. Tag. Nach Einsteigen der Versuchsperson in die vorgewärmte Wanne wurde diese, um das Einatmen und dadurch eine Reizung des Vasomotorenzentrums mit Blutdruckanstieg (56) zu verhindern, sorgfältig abgedeckt, so daß nur noch der Kopf herausragte. Der Hals wurde mit einem Tuch zur Wanne hin abgedichtet. Erst jetzt ließ man das Kohlensäure-Gas einströmen.

Bei Kohlensäure-Gasbädern bestehen hinsichtlich der subjektiven Indifferenzzone starke individuelle Unterschiede - sie liegt bei Temperaturen zwischen 21 und 29° C (87).

Da wir zu Vergleichszwecken konstante Bedingungen voraussetzen mußten,

Name Alter	Geschl.	Diagnose Nebendiagnose	RR (ausk) (mmHg)	Combitonogramm	Kreatinin (mg%)	Augenhintergrund	Herzgröße (Rö-Bef.)	EKG-Bef.
1. E. H. 28	m	Obstrukt. Emphysem Nodös-cirrhot. Lungen-Tbc des li Oberfeldes	130/90	-	1,3	-	normal	kein pathol. Befund
2. F. E. 17	f	Orthostatische Albuminurie	115/60	-	0,7	-	normal	Indifferenztyp
3. P. A. 29	m	Ikterus juvenilis Meulengracht	130/70	120/74	1,0	-	normal	geringf. Abnormität d. Erreg. rückbildung ü. Vorderwand
4. S. M. 23	m	Passagere Stiche in d. Herzgegend; kein obj. Befund	135/75	-	0,7	-	normal	kein pathol. Befund
5. K. H. 55	m	Coxarthrose bds. Spondylitis def. d. LWS Diabetes mellitus	135/90	-	0,9	keine Fundusveränd.	normal	Sinusbradykardie
6. B. K. 26	m	Hyperlipämie. Leberepithelverfettung	120/60	-	1,3	-	normal	Sinusbradykardie
7. S. T. 33	m	Polyglobulie unklarer Genese. Osteochondrose der HWS	130/90	124/78	1,2	-	normal	Indifferenztyp
8. M. A. 32	m	Zust. nach Billroth II Osteochondrose d. LWS	130/80	-	0,8	-	normal	Steiltyp
9. F. A. 25	m	Vegetat. Dystonie	130/80	-	0,9	-	normal	keine pathol. Veränderung
10. B. G. 32	m	Nasenpolypen Sinusitis maxillaris	130/80	-	0,9	-	normal	zeitw. gekoppelte ventric. Extrasystolen
11. L. W. 47	m	Zust. nach Operat. eines Magenpolypen	130/75	-	1,1	-	normal	Sinusbradykardie
12. B. W. 54	m	Cholelithiasis Coxarthrosis bds.	140/100	-	1,0	-	linkskonfiguriert	keine pathol. Veränderung
13. W. H. 66	m	Lebercirrhose	140/75	135/68	1,2	-	linkskonfiguriert	kein pathol. Befund
14. S. A. 49	m	Periphere Durchblutungsstörungen	125/70	129/75	1,2	-	normal	geringf. Erreg.-rückbild. störung linksventrikul.
15. L. A.	m	Access. Nierenarterie li Vegetative Dystonie	135/80	135/68	1,3	-	normal	ohne pathol. Befund

Tab. I Klinische Daten von 15 Normotonikern.

Name Alter	Geschl.	Diagnose Nebendiagnos	RR (ausk) (mmHg)	Combi-tono-gramm	Kreatinin (mmg%)	Augenhintergrund	Herzgröße (Rö-Bef.)	EKG-Bef.
1.R.E. 55	m	Essent. Hypertonie kein Anhalt für nephrogene Hypertonie	180/95	169/84	0,9	keine hypert. Fundeszeich.	bds. verbreitert	beginnende Linkshypertrophie
2.V.H. 16	m	Exogene Adipositas Labile Hypertonie	165/80	135/72	0,9	keine hypert. Fundeszeich.	normal	partieller Rechsschenkelblock
3.R.M. 32	f	Adipositas Essent. Hypertonie	180/110	-	0,6	keine Hypertoniezeichen	linkskonfiguriert	Linkstyp
4.N.C. 28	m	Nahrungsmittelintoxikation Essent. labile Hypert.	170/100	174/94	1,1	-	normal	kein pathol. Befund
5.K.E. 26	m	Labile essentielle Hypertonie (renal ausgeschlossen)	155/100	-	0,6	keine Hypertoniezeichen	normal	kein pathol. Befund
6.G.W. 63	m	Lungenemphysem Verdauungsinsuffizienz Labile essent. Hypert.	200/105	168/104	1,1	-	normal	Erregungsrückbildungsstörung über d. ganzen Herzen
7.S.K. 27	m	Arthritis urica Hypertonie (nicht renal bedingt) Adipositas	190/110	182/80	0,7	etwas vermehrt gefüllte Gefäße	links konfig. u. dilatiert	Linkstyp ohne pathol. Veränderung
8.T.H. 63	f	Adipositas Labile essent. Hypert.	185/105	180/95	0,7	keine Hypertoniezeichen	linkskonfiguriert	keine pathol. Veränderung bei Linkstyp
9.K.A.	f	Cholepathie Labile ess. Hypertonie Adipositas	220/90	182/80	0,8	hypert. u. arteriosklerot. Fundesveränderung	normal	Linksherzbelastung

Tab. II Klinische Daten von 9 labilen Hypertonikern.

Name Alter	Geschl.	Diagnose Nebendiagnose	RR (ausk) (mmHg)	Combitonogramm	Kreatinin (mg%)	Augenhintergrund	Herzgröße (Rö-Bef.)	EKG-Befund
1. M.W. 38	m	Chron. intracapilläre Glomerulonephritis Hypertonie (primär renal bedingt)	170/120	160/101	1,4	benigner Fundes hypertonicus	Linksverbreiterung	Zeichen einer Linksschädigung mit Hypertrophie
2. J.P. 33	f	Renaler Hypertonus Adipositas	170/115	168/104	0,5	Hypert. Fundusveränd.	links konfiguriert u. dilatiert	Linkstypisches EKG
3. S.B. 62	m	essent. fix. Hypertonie Leberparenchymschaden	205/105	190/110	1,0	-	bds. dilatiert	Zeichen d. Linksschädigung
4. J.E. 65	f	Diabetes mellitus Chron. Pyelonephritis Primär renale Hypertonie	260/130	176/104	0,8	sklerot. Fundusveränd.	linksverbreitert	Mäßige Linkshypertrophieschädigung
5. H.H. 37	m	Nierenschaden Diabetes mellitus Hyperlipämie Primär renale Hypert.	180/140	186/120	1,0	keine hypert. Zeich.	linksverbreitert	gering. linksventrikuläre Störung d. Erregungsrückbildung
6. R.E. 56	m	Primär renale Hypert. Rez. Nephrolithiasis Nierenschaden	170/95	164/94	1,1	hypert. Funduszeichen	linksdilatiert	geringf. Linkshypertrophieschäden
7. W.F. 44	m	Exogene Adipositas Essent. fix. Hypertonie	170/110	162/98	1,1	benigner Fundus hypert.	normal	kein pathol. Befund
8. S.H. 60	m	Chron. Cholangitis Zust. nach Billroth I Essent. fix. Hypert.	185/90	-	0,9	hypert. Funduszeichen	linkskonfiguriert	Erreg. rückbildungsstörung
9. P.E. 62	m	Chron. Pyelonephritis Diabetes mellitus Essent. fix. Hypertonie	170/100	168/104	1,4	hypert. Fundusveränd.	normal	Abnormität der intraventrikul. Erreg. ausbreit.
10. B.G. 28	m	Periarteriitis nodosa Polyneuropathie Fix. Hypertonie	190/110	195/102	1,1	Hypertoniezeichen	normal	Linksventrikul. Schädigung
11. R.H. 25	m	Essent. fix. Hypertonie	180/90	-	1,3	keine Hypertoniezeichen	normal	Erregungsrückbildungsstörung

Tab. III Klinische Daten von 11 fixierten Hypertonikern.

hielten wir für alle Gasbäder die Temperatur konstant auf 28° C. Die Badedauer betrug 20 Minuten. Blutdruck und Puls wurden fortlaufend alle 2 Minuten gemessen. Die Blutdruckmanschette blieb wieder während der Dauer des Versuches angelegt.
Bei keinem der Patienten traten subjektiv unangenehme Reaktionen auf.

Eine Auswertung der Nachperiode erfolgte nicht, da nur das Aktualverhalten des Blutdruckes im Bad in diesem Zusammenhang analysiert werden sollte. Die Auswertung der Nachperiode erfordert einen weiteren erheblichen technischen Aufwand, der im Zusammenhang mit diesen Untersuchungen nicht durchführbar war.

Auf diese Weise wurden 105 Blutdruck- und Pulsfrequenzkurven von 35 Versuchspersonen aufgezeichnet.

C. ERGEBNISSE

Vorversuche

Bei den am ersten Tag bei jedem Patienten durchgeführten Leerversuchen erhielten wir folgende Ergebnisse:
Nachdem sich der Proband auf das Ruhebett gelegt hatte, kam es bei den meisten Untersuchten in den ersten Minuten zu einem geringen Blutdruckabfall. Im weiteren Verlauf der Voruntersuchungen verhielt sich der Blutdurck weitgehend konstant. Bei der Auswertung der Blutdruckänderung im Bad mußten also keine, durch anderweitige Einflüsse verursachten, Druckschwankungen berücksichtigt werden.

Bei der Beurteilung aller nachfolgend dargestellten Mittelwerte ist zu berücksichtigen, daß jeweils pro Patient 10 Einzelmessungen zusammengefaßt wurden. Diese wiederum stellten die Grundlage für die Berechnung der Mittelwerte der 3 verschiedenen Gruppen unseres Untersuchungsgutes dar.

I. NORMOTONIKER

Tabelle IV enthält die Ergebnisse der Untersuchungen bei 15 Patienten mit normotonem Blutdruck.

1. Flüssiges Kohlensäurebad

Die Ausgangswerte bei 15 Versuchspersonen mit normotonem Blutdruck lagen in der Vorperiode zwischen 145/80 mmHg und 114/72 mmHg. Im Kohlensäure-Wasserbad kam es in fast allen Fällen (12 von 15 VP) zu einem ge-

ringen Abfall der Blutdruckwerte; der mittlere Blutdruck sank von 128/75 mmHg in der Vorperiode auf 122/69 mmHg im Bad ab.

P_m: Der arterielle Mitteldruck fiel während des Bades bei den 15 Patienten im Mittel um 7 mmHg ab, was einer Senkung von 7,5 % entspricht.

Aufgegliedert in systolisches und diastolisches Blutdruckverhalten erhielten wir folgende Ergebnisse:

P_s: Die mittlere Abnahme des systolischen Druckes betrug 6 mmHg (4,5%). Bei 12 Versuchspersonen trat eine Senkung zwischen 1 % und maximal 13 % ein, während bei einem Untersuchten P_s unverändert blieb und bei zwei Probanden sogar ein leichter Anstieg um 3 bzw. 4 % zu verzeichnen war.

P_d: Die Abnahme des diastolischen Druckes betrug im Mittel 6 mmHg (7,3 %). Die individuellen Veränderungen bewegten sich zwischen +9 % und -17 %.

Blutdruckamplitude: Da systolischer und diastolischer Druck gleichsinnig verliefen und im Durchschnitt um denselben Betrag sanken, veränderte sich die mittlere Blutdruckamplitude unter dem Einfluß des Bades nicht.

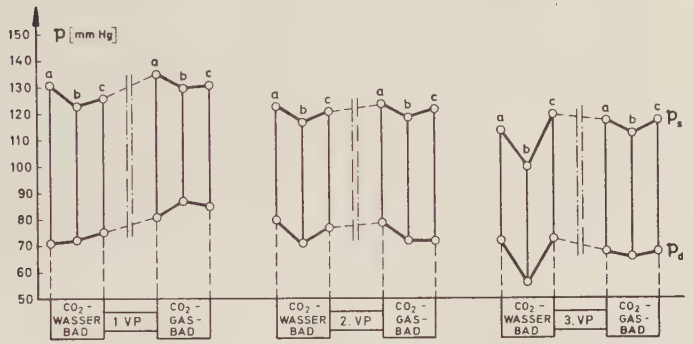
Pulsfrequenz: Auf die Gesamtheit der 15 normotonen Versuchspersonen bezogen, konnte während des flüssigen Kohlensäurebades keine wesentliche Änderung der Pulswerte festgestellt werden.

	CO_2-Wasserbad						CO_2-Gasbad					
Pat.	RR $\frac{P_s}{P_d}$ mmHg			Puls/min			RR $\frac{P_s}{P_d}$ mmHg			Puls/min		
	v	b	n	v	b	n	v	b	n	v	b	n
1. W.H.	131 71	123 72	126 75	78	84	78	135 81	130 87	131 85	72	80	64
2. F.E.	123 80	117 71	121 77	82	78	76	124 79	119 72	122 72	76	70	80
3. P.A.	114 72	100 56	120 73	72	64	76	118 68	113 66	118 68	80	84	78
4. S.M.	125 85	123 82	126 86	72	56	68	128 92	114 89	118 90	62	68	60
5. K.H.	123 66	107 59	124 75	76	76	72	129 70	124 72	127 70	80	88	78
6. B.K.	125 68	121 62	122 73	84	80	80	126 68	105 67	122 72	86	84	88
7. S.T.	117 67	103 57	114 65	84	76	82	118 73	110 72	118 81	88	96	84
8. M.A.	130 85	120 73	128 82	60	60	72	121 86	119 85	122 85	66	66	70
9. F.A.	125 63	122 65	124 64	84	90	80	122 56	116 50	120 51	80	88	82
10. B.G.	132 90	127 81	130 93	84	76	88	123 85	124 88	127 87	92	90	92
11. L.W.	133 77	121 67	132 77	66	64	70	122 70	125 71	124 70	60	68	68
12. B.W.	129 69	131 75	132 74	88	92	84	133 80	136 76	133 80	74	80	78
13. W.H.	145 80	143 75	144 72	72	64	76	144 82	143 80	140 76	80	82	78
14. S.A.	135 75	141 75	129 80	72	68	68	128 81	135 90	131 90	64	70	68
15. L.A.	132 74	136 65	127 69	80	76	80	135 76	133 74	136 76	84	80	78

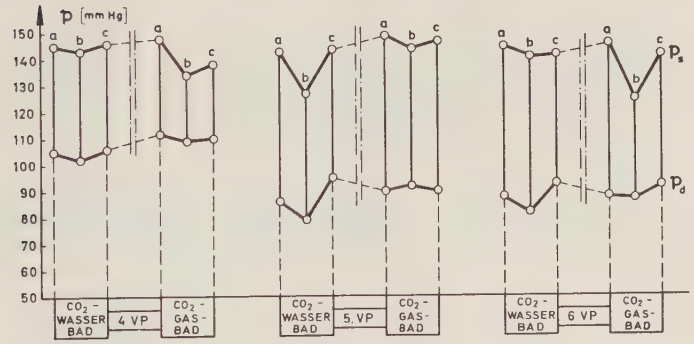
Tab. IV Normotoniker
Übersicht über das Verhalten von Blutdruck und Pulsfrequenz während des Versuchsablaufes im flüssigen und gasförmigen Kohlensäurebad bei 15 Patienten.
(v = Vorperiode, b = Bad, n = Nachperiode)

Abb. 1 Übersicht über das Blutdruckverhalten der einzelnen Versuchspersonen (VP) mit normotonem Blutdruck im flüssigen und gasförmigen Kohlensäurebad.
a = Vorperiode b = Bad c = Nachperiode

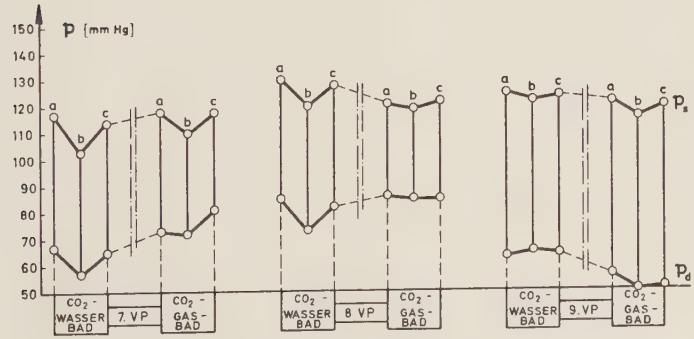
a



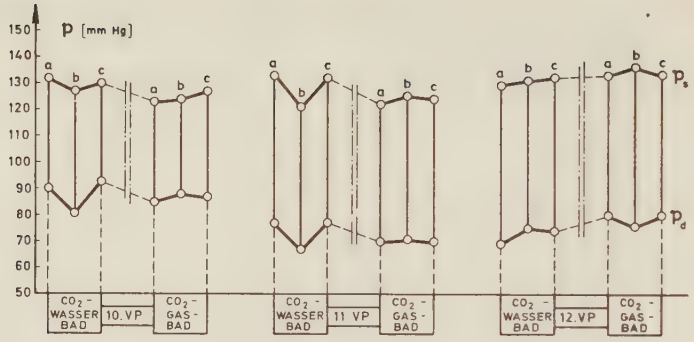
b



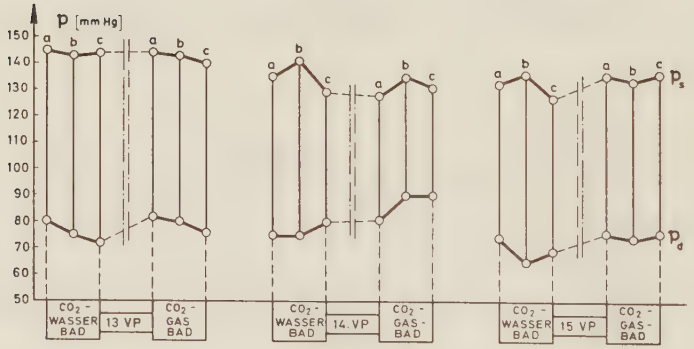
c



d


p [mm Hg]
150
140
130
120
110
100
90
80
70
60
50
a
b
c
p_s
p_d
CO_2 - WASSER BAD
10. VP
CO_2 - GAS - BAD
11 VP
12. VP

e


p [mm Hg]
150
140
130
120
110
100
90
80
70
60
50
a
b
c
p_s
p_d
CO_2 - WASSER BAD
13 VP
CO_2 - GAS BAD
14. VP
15 VP

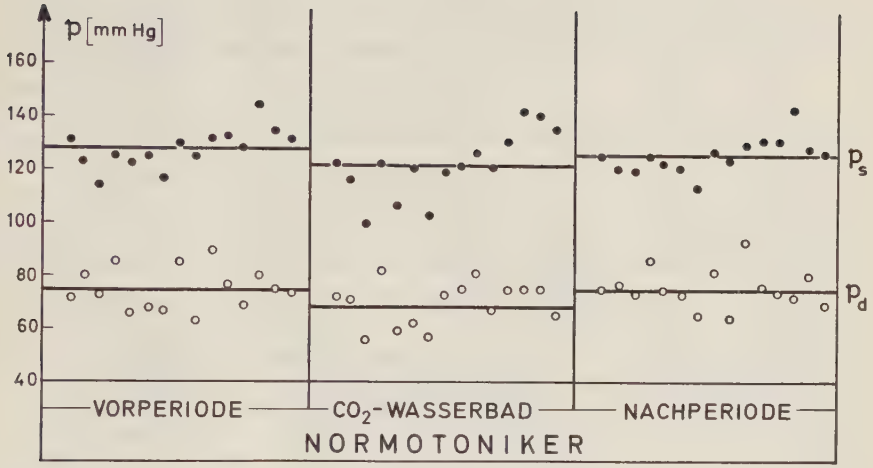


Abb. 2 Blutdruckwerte von 15 Normotonikern vor, während und nach dem flüssigen Kohlensäurebad.
● = systolischer Druck) Einzelwerte
o = diastolischer Druck)
— = Mittelwert

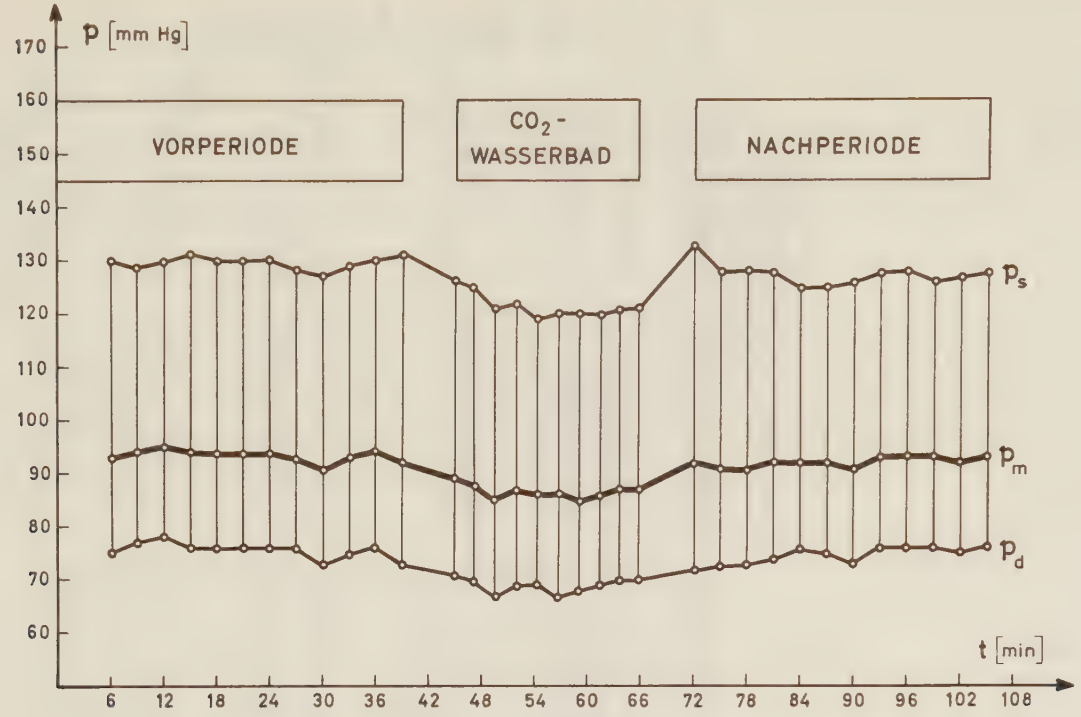


Abb. 3 Blutdruckverhalten im flüssigen CO_2-Bad bei Normotonikern.
Mittelwertkurve: n = 15
P_s = systolischer Druck
P_m = arterieller Mitteldruck
P_d = diastolischer Druck

2. Gasförmiges Kohlensäurebad: (s. Tab. IV)

Die Ruhewerte der Vorperiode zeigten bei den 15 Normotonikern eine Breite von 144/82 mmHg bis 118/68 mmHg.
Im Kohlensäure-Gasbad kam es zu keiner einheitlichen Reaktion der 15 Versuchspersonen. Bei 7 Patienten trat ein geringfügiger Anstieg des systolischen oder diastolischen Druckes ein, während bei 8 Untersuchten ein verschieden starker Abfall zu beobachten war. Der mittlere Blutdruck sank im Bad von 127/77 auf 123/76 mmHg.

P_m: Der arterielle Mitteldruck veränderte sich durchschnittlich nicht wesentlich; er fiel nur um 2 mmHg.

P_s: Der systolische Druck lag im Durchschnitt um 4 mmHg (3, 3 %) niedriger als vor dem Bad. Die Veränderungen reichten von einer Blutdruckzunahme von 5 % bis zur Senkung um maximal 17 %.

P_d: Der diastolische Druck zeigte im Mittel keine Änderung (Absinken um nur 0, 8 %). Bei 6 Probanden stieg er im Bad bis zu 11 % an; bei 9 Patienten konnte ein Druckabfall bis zu 11 % verzeichnet werden.

Blutdruckamplitude: Da es im Kohlensäure-Gasbad bei Normotonikern im Mittel nur zu minimalen Veränderungen des P_s und P_d kam, wurde die Blutdruckamplitude durch das Bad nicht beeinflußt.

Pulsfrequenz: Im gasförmigen Kohlensäurebad stieg die mittlere Pulsfrequenz gering an. Bei 8 Versuchspersonen nahm die Pulszahl pro Minute bis zu 8 Schlägen zu, während sie bei 7 Kranken leicht abfiel.

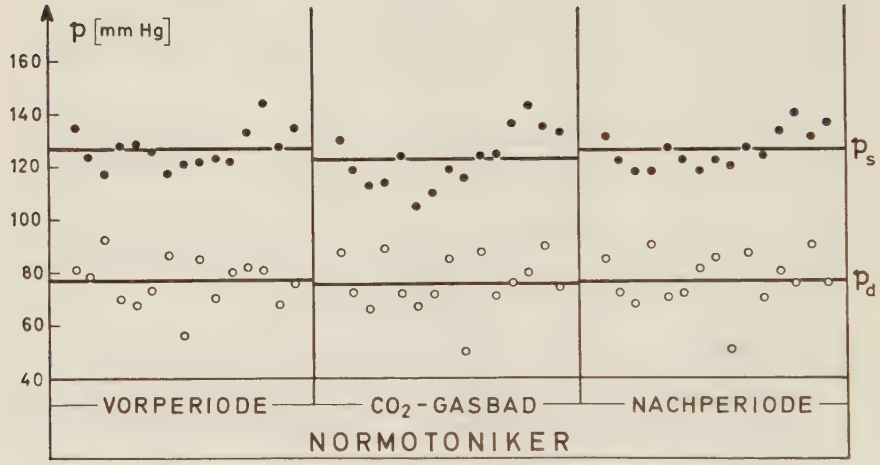


Abb. 4 Blutdruckwerte von 15 Normotonikern vor, während und nach dem gasförmigen Kohlensäurebad.
● = systolischer Druck) Einzelwert
o = diastolischer Druck)
— = Mittelwert

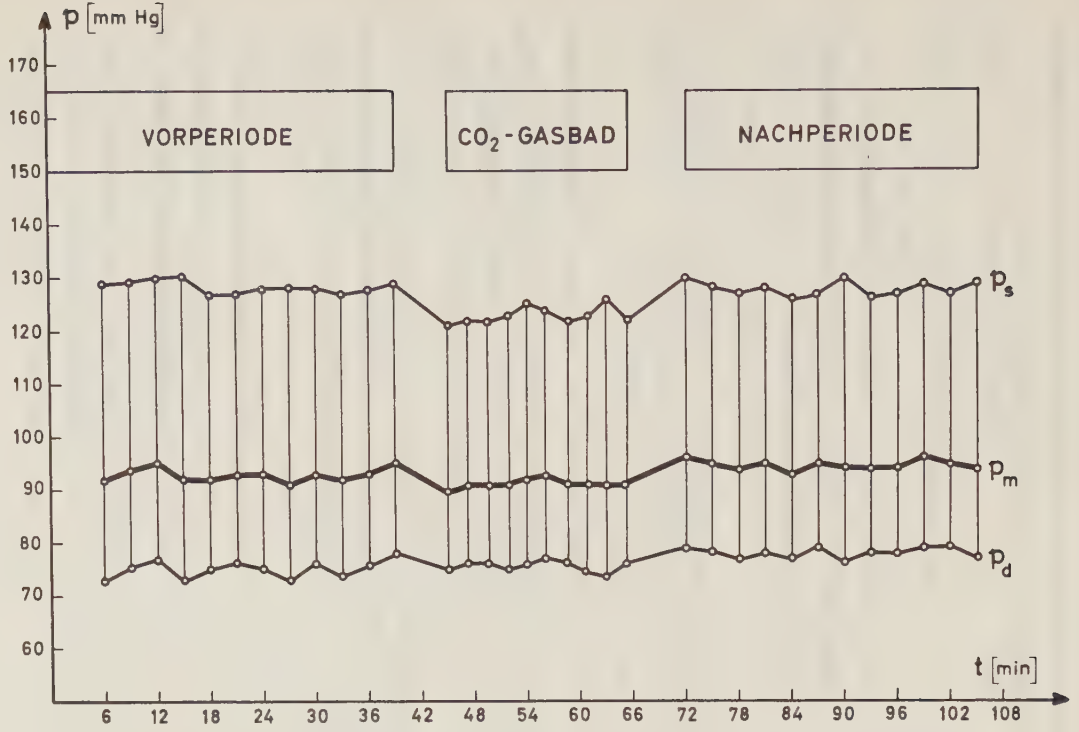


Abb. 5 Blutdruckverhalten im gasförmigen CO_2-Bad bei Normotonikern.
Mittelwertkurve: n = 15
P_s = systolischer Druck
P_m = arterieller Mitteldruck
P_d = diastolischer Druck

II. LABILE ESSENTIELLE HYPERTONIKER

In Tabelle V sind die Ergebnisse der Untersuchungen bei 9 Versuchspersonen mit labiler essentieller Hypertonie zusammengestellt.

1. Flüssiges Kohlensäurebad

Bei den 9 Patienten variierten die Blutdruckwerte in der Vorperiode zwischen 178/111 mmHg und 124/94 mmHg. Bei allen Versuchspersonen fiel ohne Ausnahme der Blutdruck während des Bades eindeutig ab. Er lag im Mittel bei 131/ 73 mmHg.

P_m: Der arterielle Mitteldruck betrug im Durchschnitt vor dem Bad 115 mmHg und sank im Kohlesäure-Wasserbad bis auf 71 mmHg; das entspricht einem Abfall von 24 mmHg oder 21 %.

P_s: Die Höhe des systolischen Druckes nahm bei allen 9 Probanden deutlich, allerdings in sehr verschiedenem Ausmaß, ab. Im Mittel betrug der Druckabfall 24 mmHg (14 %). Die individuell verschieden starke Senkung reichte von minimal 3 mmHg (2 %) bis maximal 47 mmHg (26 %).

P_d: Der diastolische Blutdruck zeigte bei allen Patienten ebenfalls eine Abnahme in nennenswertem Maße. Der mittlere Abfall betrug 21 mmHg (22 %). Die individuelle Schwankungsbreite bewegte sich von -13 % bis maximal -37 %.

Blutdruckamplitude: Im Kohlensäure-Wasserbad verlief im Mittel der Minimaldruck parallel zum Maximaldruck, so daß sich die Amplitude auch bei den labilen essentiellen Hypertonikern konstant verhielt.

Pulsfrequenz: Unter dem Einfluß des Bades kam es bei den labilen essentiellen Hypertonikern, von zwei Ausnahmen abgesehen, zu einer geringen Verlangsamung der Herzfrequenz, die maximal - 8 Schläge betrug.

Während des Wasserbades zeigte sich bei Patient Nr. 7 eine besonders ausgeprägte Reaktion. An seinem Beispiel soll der Versuchsablauf eines Einzelbades und die von CUSTOCOR registrierte Kurve dargestellt werden.

Patient Nr. 7 Herr S.K., 27 Jahre

Diagnose: Labile essentielle Hypertonie
Arthritis urica
Adipositas

RR bei der Klinikaufnahme: Combitonogramm 182/80 mmHg
auskultat. 190/110 mmHg

Herz: Linkskonfiguriert und linksdilatiert

EKG: Ohne pathologische Veränderung

Augenhintergrund: Etwas vermehrt gefüllte Gefäße (Universitäts-Augenklinik, Tübingen)

Versuchsprotokoll

Blutdruckwerte im Mittel	systolisch	diastolisch
Vorperiode (45 min)	178 mmHg	111 mmHg
Kohlensäure-Wasser-Bad (32^{o} C, 20 min)	131 mmHg	71 mmHg
Veränderung der Blutdruckwerte im Bad	-47 mmHg	-40 mmHg
Nachperiode	150 mmHg	118 mmHg

Pulskurve: Pulszahlerhöhung im Mittel um 4 Schläge pro Minute während des Bades.

Der Patient äußerte im Bad ausgesprochenes Wohlbefinden.

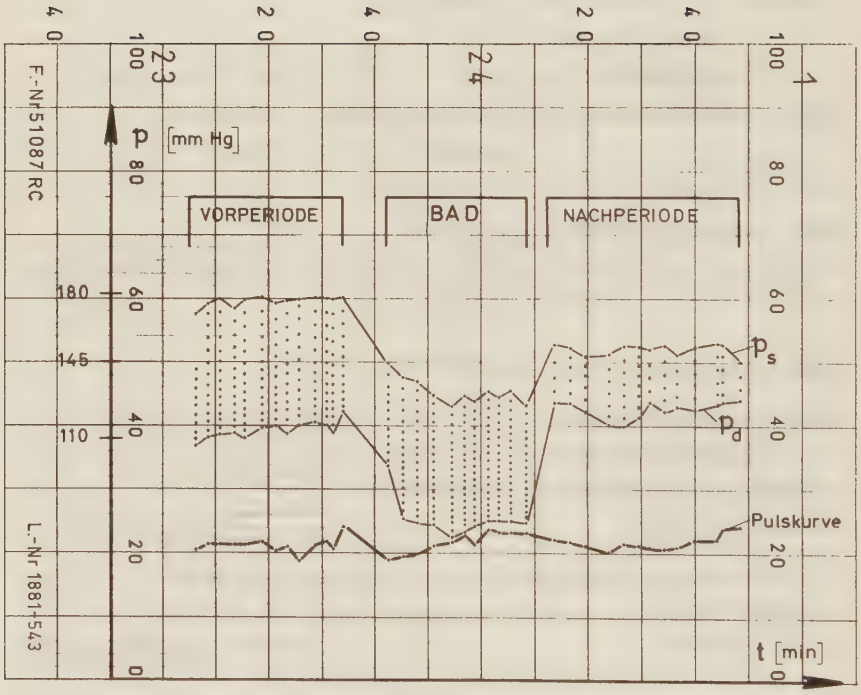


Abb. 6 Patient Nr. 7
Verhalten von Blutdruck und Pulsfrequenz vor, im und nach dem flüssigen Kohlensäurebad bei essentieller, labiler Hypertonie.

	CO_2-Wasserbad						CO_2-Gasbad					
Pat.	RR $\frac{P_s}{P_d}$ mmHg			Puls/min			RR $\frac{P_s}{P_d}$ mmHg			Puls/min		
	v	b	n	v	b	n	v	b	n	v	b	n
1. R.E.	143 82	127 70	162 87	76	74	72	151 82	144 86	152 85	68	72	64
2. V.H.	124 67	121 50	142 77	92	84	88	146 81	135 87	145 89	92	90	94
3. R.M.	162 104	134 82	148 97	70	64	68	171 102	164 100	161 100	68	72	78
4. N.C.	152 105	145 66	155 111	76	70	68	157 103	145 89	158 103	70	68	68
5. K.E.	144 106	123 92	141 106	64	60	68	137 97	101 73	122 91	68	68	72
6. G.W.	150 83	114 65	152 85	72	78	70	180 81	159 72	184 97	76	82	72
7. S.K.	178 111	131 71	150 118	68	72	68	185 110	165 103	172 107	74	70	76
8. T.H.	167 102	136 83	154 99	72	72	68	172 103	157 87	170 100	74	70	76
9. K.A.	172 90	150 78	160 87	86	80	78	155 73	123 66	138 71	76	82	80

Tab. V Labile Hypertoniker
Übersicht über das Verhalten von Blutdruck und Pulsfrequenz während des Versuchsablaufes im flüssigen und gasförmigen Kohlensäurebad.
(v = Vorperiode, b = Bad, n = Nachperiode)

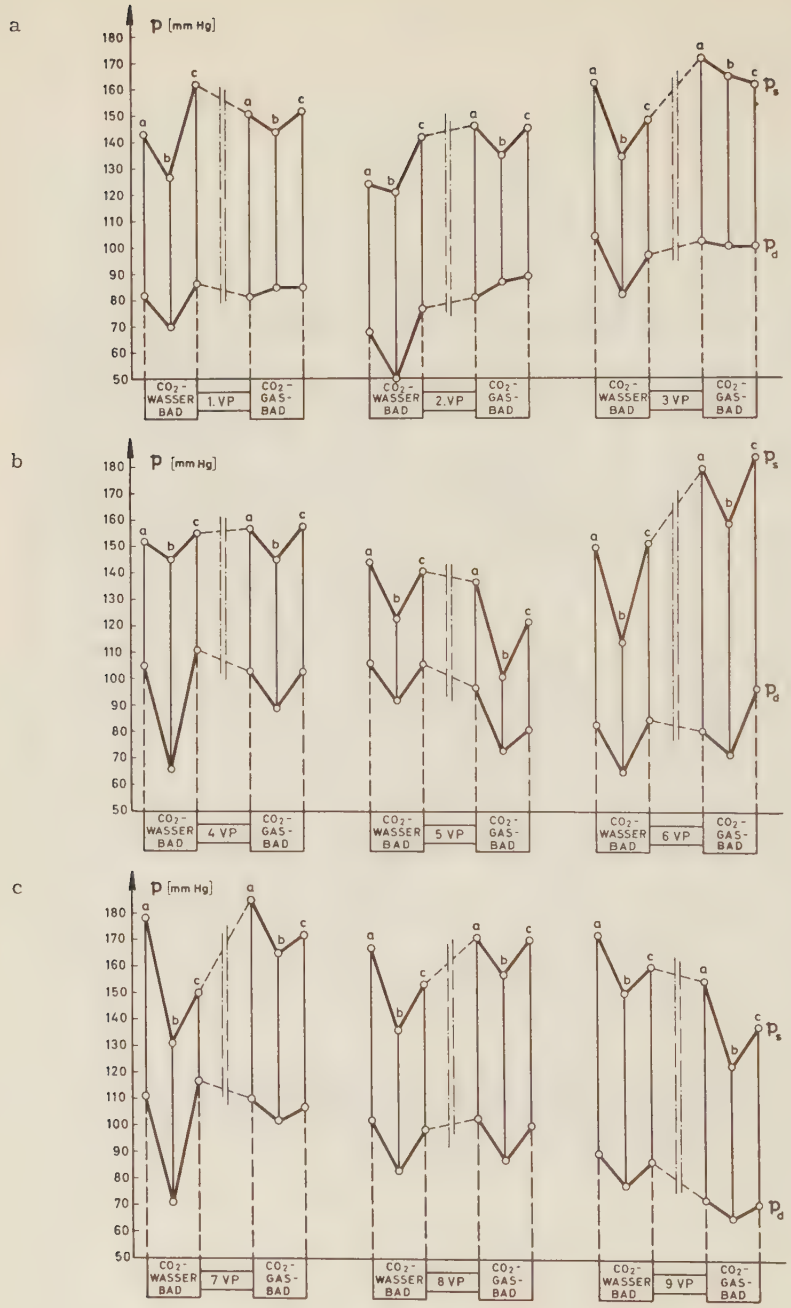


Abb. 7 Übersicht über das Blutdruckverhalten der einzelnen Versuchspersonen mit labilem essentiellem Hypertonus im flüssigen und gasförmigen Kohlensäurebad.
a = Vorperiode b = Bad c = Nachperiode

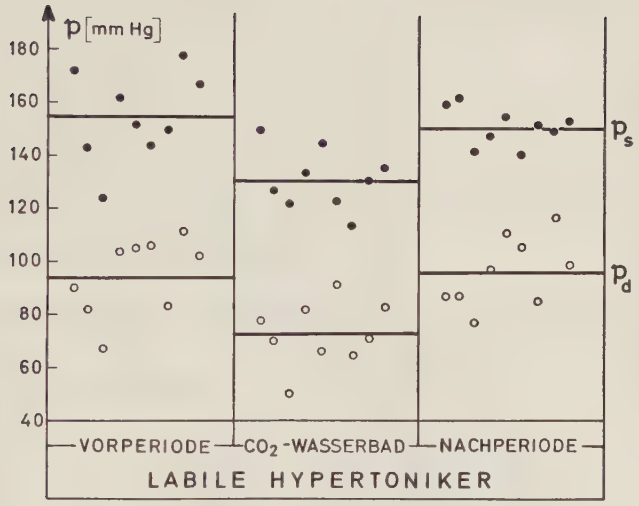


Abb. 8 Blutdruckwerte von 9 labilen Hypertonikern vor, während und nach dem flüssigen Kohlensäurebad.
● = systolischer Druck) Einzelwerte
o = diastolischer Druck)
— = Mittelwert

Abb. 9 Blutdruckverhalten im flüssigen CO_2-Bad bei labilen essentiellen Hypertonikern.
Mittelwertkurve: n = 9 P_m = arterieller Mitteldruck
P_s = systolischer Druck P_d = diastolischer Druck

2. Gasförmiges Kohlensäurebad (s. Tab. V)

Die Blutdruckwerte von 9 labilen Hypertonikern (den gleichen Patienten, an denen auch die Untersuchungen im flüssigen Kohlensäurebad vorgenommen wurden) lagen vor dem Bad im Mittel bei 162/93 mmHg.
Im Kohlensäure-Gasbad fiel der Blutdruck bei allen Patienten deutlich ab. - der durchschnittliche Wert betrug 141/85 mmHg.

P_m: Der arterielle Mitteldruck sank durchschnittlich von 115 mmHg in der Vorperiode während des Bades um 11 mmHg auf 104 mmHg (9,5 %) ab.

P_s: Der systolische Druck nahm im Mittel um 18 mmHg (10 %) ab. Das Ausmaß des Druckabfalls variierte bei den einzelnen Patienten zwischen minimal 4 % und maximal 19 %.

P_d: Der diastolische Druck zeigte im Mittel eine Abnahme um 8 mmHg (8 %). Bei 7 von 9 Versuchspersonen fiel der P_d zwischen 2 und 24 mmHg, während bei zwei Patienten ein Anstieg um 6 mmHg registriert wurde.

Blutdruckamplitude: Bei 9 Probanden mit labilem essentiellem Hypertonus war im Mittel die Veränderungstendenz von P_s und P_d zwar gleich, aber der Maximaldruck sank etwas stärker ab als der Minimaldruck, so daß sich eine mittlere Amplitudenreduktion von 10 mmHg ergab.

Pulsfrequenz: Unter dem Einfluß des Kohlensäure-Gasbades konnte hinsichtlich der Pulszahl keine einheitliche Reaktion beobachtet werden. Bei 4 Untersuchten verlangsamte sich die Pulszahl im Bad geringfügig (-2 bis -4 Schläge pro Minute), bei weiteren 4 Kranken zeigte sie einen minimalen Anstieg (bis maximal 6 Schläge pro Minute), während sie bei einer Versuchsperson unverändert blieb.

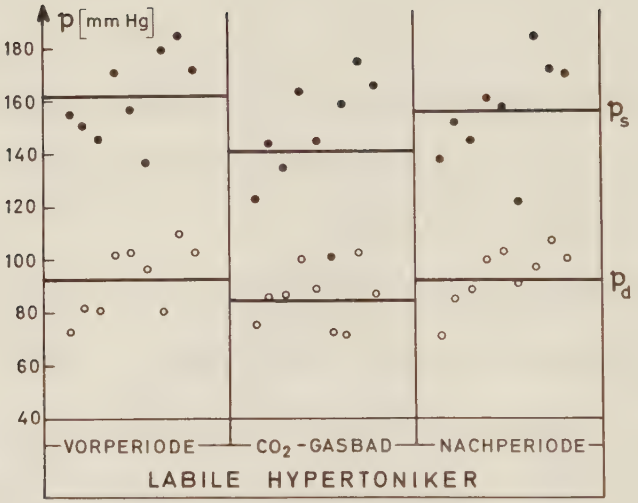


Abb. 10 Blutdruckwerte von 9 labilen Hypertonikern vor, während und nach dem gasförmigen Kohlensäurebad.
● = systolischer Druck) Einzelwerte
o = diastolischer Druck)
— = Mittelwert

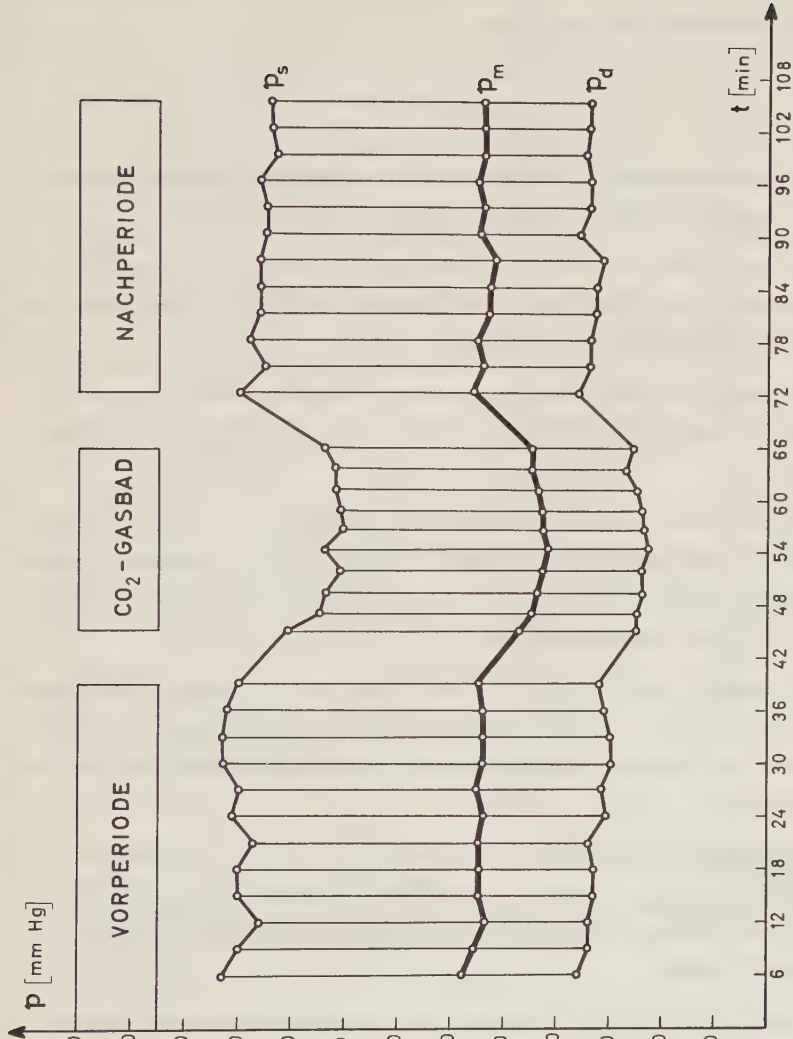


Abb. 11 Blutdruckverhalten im gasförmigen CO_2-Bad bei labilen essentiellen Hypertonikern.
Mittelwertkurve: n = 9 $\bar{P}_m$ = arterieller Mitteldruck
P_s = systolischer Druck P_d = diastolischer Druck

III. FIXIERTE HYPERTONIKER

Tabelle VI gibt die Ergebnisse der Untersuchungen bei 11 Versuchspersonen mit fixiertem Hypertonus wieder.

1. Flüssiges Kohlensäurebad

In der Vorperiode lagen die Blutdruckwerte bei den 11 Patienten zwischen 177/116 mmHg und 158/93 mmHg; im Mittel bei 158/97 mmHg.

Im Kohlensäure-Wasserbad kam es (mit einer Ausnahme - Patient Nr. 5) zu einem deutlichen Abfall der Blutdruckwerte. Der mittlere Blutdruck betrug während des Bades 146/85 mmHg.

P_m: Der arterielle Mitteldruck fiel bei den 11 Patienten durchschnittlich von 117 mmHg in der Vorperiode um 12 mmHg (10 %) auf 105 mmHg ab.

P_s: Im Mittel sank der systolische Druck 12 mmHg, was 7,5 % entspricht. Bei 9 Versuchspersonen trat eine Abnahme zwischen minimal 6 mmHg (4 %) und maximal 29 mmHg (19 %) auf, während bei 2 Probanden der P_s um 5 bzw. 8 mmHg zunahm.

P_d: Der diastolische Druck lag im Durchschnitt um 12 mmHg (12 %) niedriger als vor dem Bad. Die Veränderungen variierten zwischen einer Zunahme um 4 mmHg bei einem Untersuchten und Senkungen bis maximal 27 mmHg.

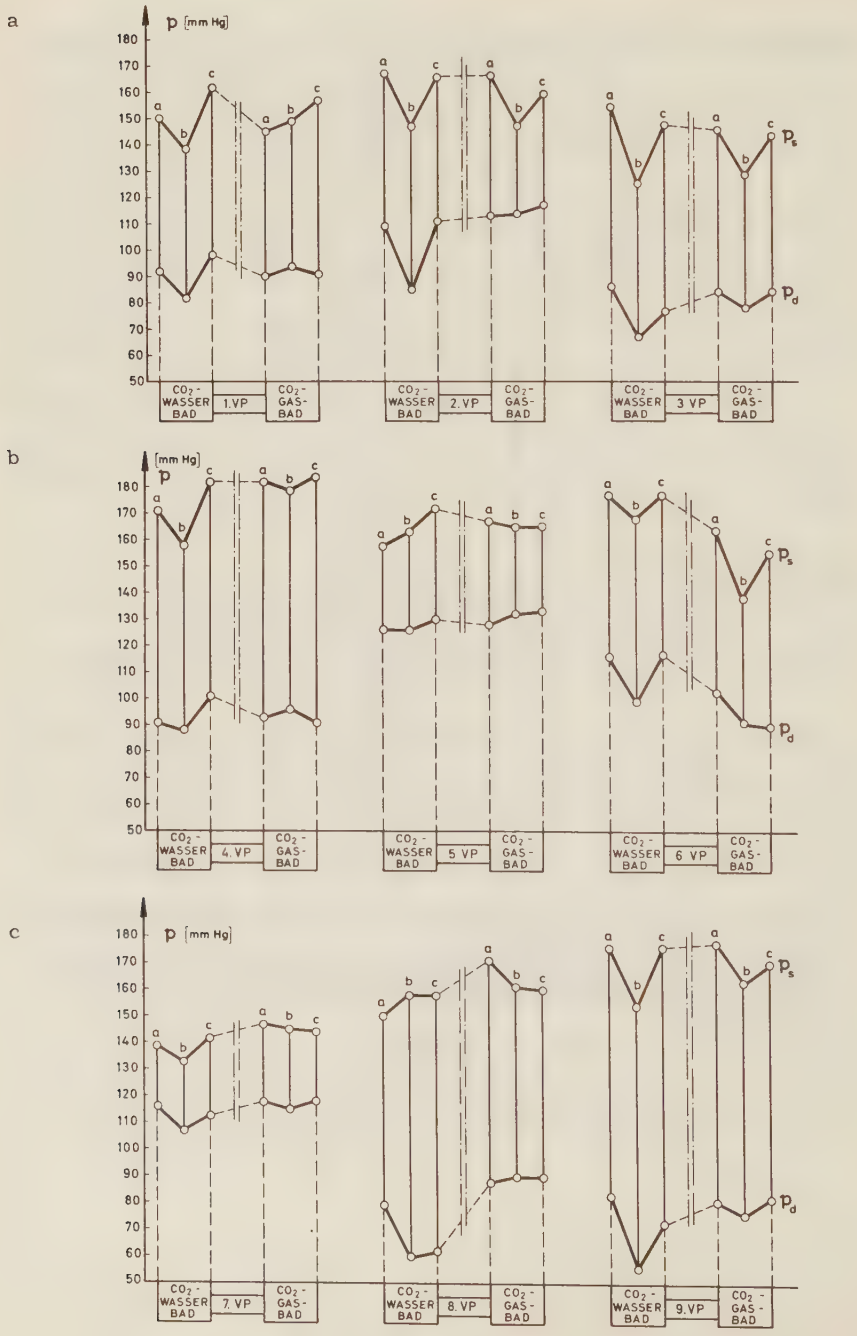
Blutdruckamplitude: Systolischer und diastolischer Blutdruck sanken im Mittel während des Bades um völlig gleiche Beträge ab, so daß die Höhe der durchschnittlichen Druckamplitude durch das Bad nicht beeinflußt wurde.

Pulsfrequenz: Während des Kohlensäure-Wasserbades zeigte die Herzfrequenz in der Mehrzahl der Fälle eine Verlangsamung bis maximal -8 Schläge pro Minute.

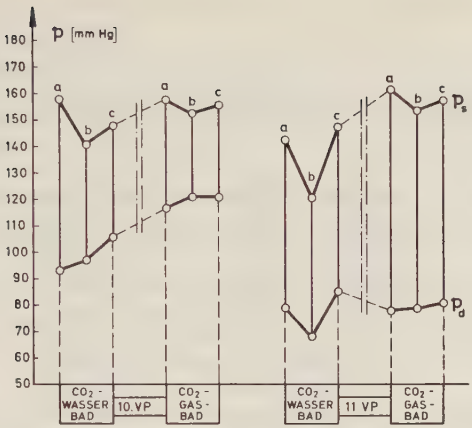
Pat.	CO_2-Wasserbad						CO_2-Gasbad					
	$RR^{P_s}_{P_d}$ mmHg			Puls/min			$RR^{P_s}_{P_d}$ mmHg			Puls/min		
	v	b	n	v	b	n	v	b	n	v	b	n
1. M. W.	150 92	139 82	162 99	86	78	78	145 90	149 94	148 93	76	82	80
2. J. P.	167 109	147 85	166 111	88	90	84	166 113	147 114	159 117	80	88	82
3. S. B.	154 86	125 67	147 77	64	58	60	145 84	128 78	143 84	60	56	64
4. J. E.	171 91	158 88	187 101	64	62	60	182 93	179 96	184 91	68	74	70
5. H. H.	158 126	163 126	172 130	90	96	90	167 128	165 132	165 133	92	96	90
6. R. E.	177 116	168 99	177 117	84	80	84	164 103	138 91	155 90	80	76	84
7. W. F.	139 116	133 107	142 113	80	76	78	147 118	145 115	144 118	80	86	86
8. S. H.	150 79	158 60	158 62	70	74	80	171 88	161 90	170 90	68	70	76
9. P. E.	176 83	154 56	176 73	80	82	82	178 81	163 76	170 82	72	76	70
10. B. G.	158 93	141 97	159 116	92	88	86	158 117	153 121	156 121	92	92	92
11. R. H.	143 79	121 68	148 85	64	64	58	162 78	154 79	158 81	64	68	60

Tab. VI Fixierte Hypertoniker
Übersicht über das Verhalten von Blutdruck und Pulsfrequenz während des Versuchsablaufes im flüssigen und gasförmigen Kohlensäurebad bei 11 Patienten.
(v = Vorperiode, b = Bad, n = Nachperiode)

Abb. 12 Übersicht über das Blutdruckverhalten der einzelnen Versuchspersonen mit fixiertem Hypertonus im flüssigen und gasförmigen Kohlensäurebad.
a = Vorperiode b = Bad c = Nachperiode



d



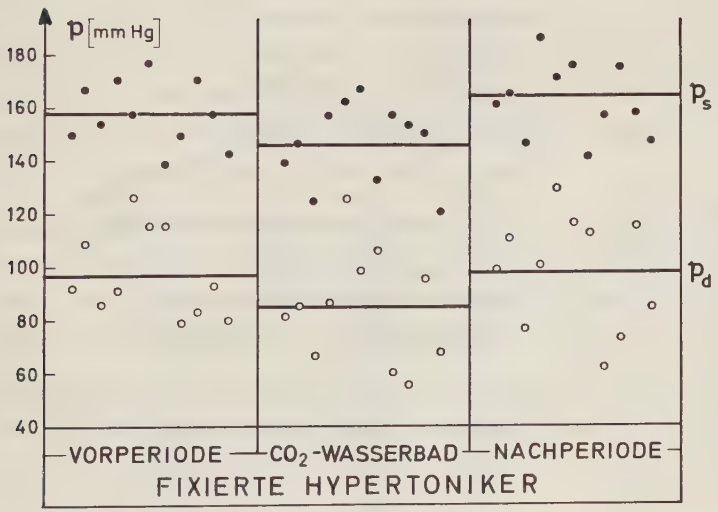


Abb. 13 Blutdruckwerte von 11 fixierten Hypertonikern vor, während und nach dem flüssigen Kohlensäurebad.
● = systolischer Druck) Einzelwerte
o = diastolischer Druck)
— = Mittelwert

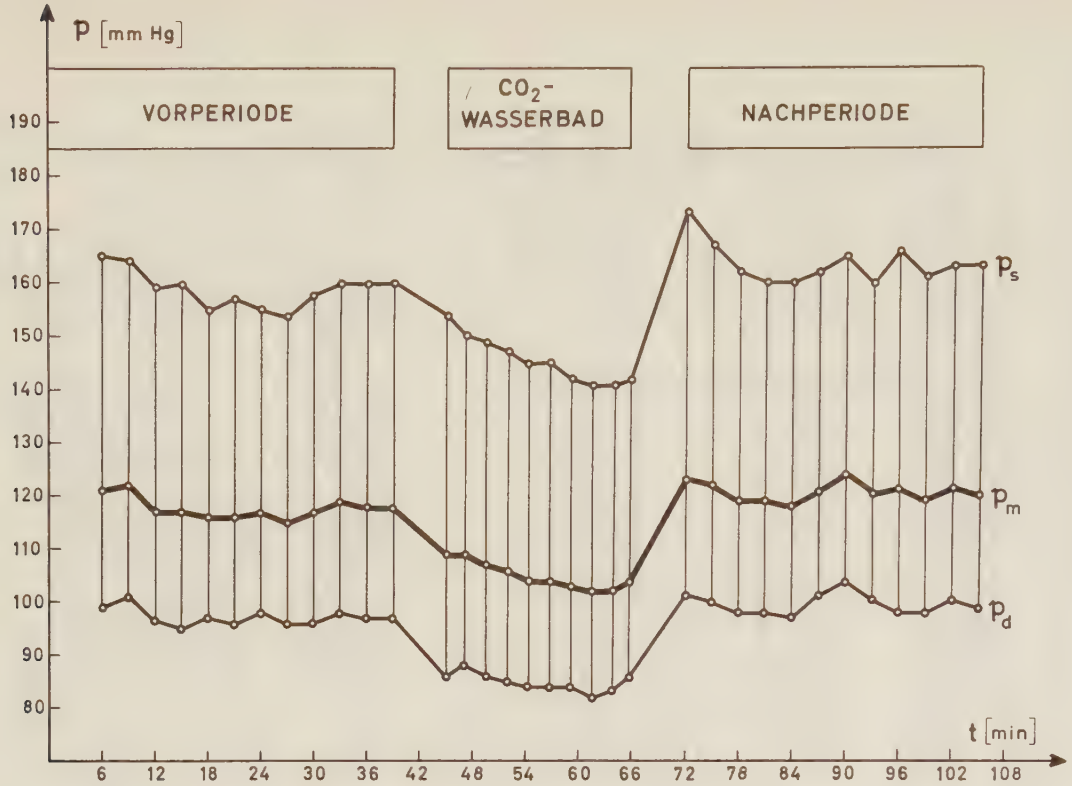


Abb. 14 Blutdruckverhalten im flüssigen Kohlensäure-Bad bei fixierten Hypertonikern.
Mittelwertkurve: n = 11 P_m = arterieller Mitteldruck
P_s = systolischer Druck P_d = diastolischer Druck

2. Gasförmiges Kohlensäurebad (s. Tab. VI)

Bei den 11 Patienten mit fixiertem Hypertonus lag in der Vorperiode die individuelle Schwankungsbreite der Blutdruckwerte zwischen 182/93 mmHg und 145/90 mmHg.

Im Kohlensäure-Gasbad sank bei 8 von 11 Versuchspersonen der Blutdruck ab: im Mittel von 162/99 mmHg vor dem Bad bis auf 152/98 mmHg im Bad.

P_m: Der arterielle Mitteldruck fiel durchschnittlich von 120 mmHg in der Vorperiode auf 117 mmHg; das entspricht einem Abfall von 3 mmHg (2,5 %).

P_s: Die Höhe des systolischen Druckes lag um 10 mmHg (6 %) niedriger als in der Vorperiode. Die Abnahme schwankte bei 10 Untersuchten zwischen 2 und 26 mmHg; bei einem Probanden war ein Anstieg um 4 mmHg zu verzeichnen.

P_d: Hinsichtlich des diastolischen Druckes zeigte sich bei den 11 Versuchspersonen keine einheitliche Reaktion. Im Mittel veränderte sich der diastolische Wert nicht (Abnahme um nur 1 mmHg). Bei 7 Patienten stieg der Druck bis maximal 4 mmHg an, während er nur bei 4 Versuchspersonen zwischen 3 und 12 mmHg absank.

Blutdruckamplitude: Da im Mittel der Maximaldruck P_s bei den 11 Patienten mit fixiertem Hypertonus absank, während der Minimaldruck P_d unbeeinflußt blieb, trat während des Kohlensäure-Gasbades im Durchschnitt eine Verkleinerung der Amplitude um 9 mmHg auf.

Pulsfrequenz: Unter dem Einfluß des Kohlensäure-Gasbades wurde bei 10 von 11 Versuchspersonen die Herzfrequenz geringfügig beschleunigt (Zunahme zwischen 2 und 8 Schlägen pro Minute).

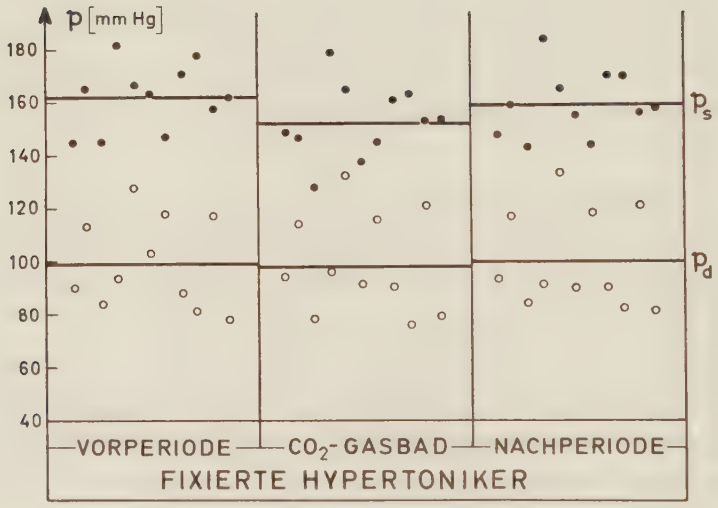


Abb. 15 Blutdruckwerte von 11 fixierten Hypertonikern vor, während und nach dem gasförmigen Kohlensäurebad.
● = systolischer Druck) Einzelwerte
o = diastolischer Druck)
– = Mittelwert

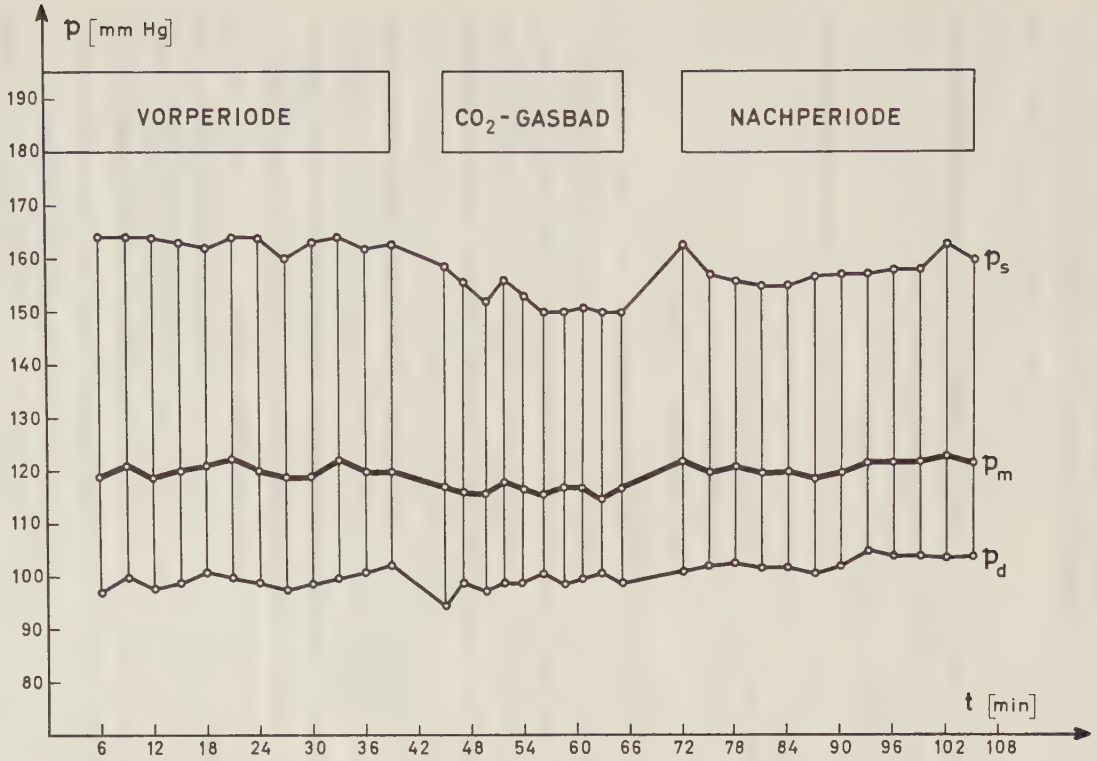


Abb. 16 Blutdruckverhalten im gasförmigen Kohlensäure-Bad bei fixierten Hypertonikern.
Mittelwertkurve: n = 11 P_m = arterieller Mitteldruck
P_s = systolischer Druck P_d = diastolischer Druck

D. STATISTISCHE AUSWERTUNG*

Bei unseren Versuchen im Kohlensäurebad wurde der Blutdruck in Abhängigkeit von folgenden Faktoren gemessen:

1. Krankheitsgruppe des Patienten
   (Normotoniker, labile und fixierte Hypertoniker)
2. Patient
3. Badeart
4. Zeitpunkt des Versuchsablaufes
   (vor, während, nach dem Bad)
5. Zeitpunkt der Einzelmessung

Inwieweit der Blutdruck durch eine Änderung dieser Faktoren beeinflußt wird, ist Gegenstand der weiteren Untersuchung. Bevor jedoch eine ausführliche statistische Analyse der Meßergebnisse zur Klärung dieser Frage durchgeführt werden soll, erscheint es angebracht, zunächst zu überlegen, ob in Anbetracht der Kenntnis des medizinischen Sachverhaltes nicht a priori einige der aufgeführten Faktoren als für die Blutdruckhöhe irrelevant verworfen werden können. Es wäre sinnlos, mit diffizilen Methoden der zufallskritischen Statistik Untersuchungen durchzuführen, von denen man auf Grund der experimentellen Befunde weiß, daß sie ohnehin nur zu medizinisch trivialen Ergebnissen führen können.
Durch die Betrachtung der Meßergebnisse konnte festgestellt werden, daß sich der Blutdruck bei den 10 Einzelmessungen, die innerhalb jedes der drei Zeitpunkte des Versuchsablaufes durchgeführt wurden, abgesehen von physiologischen Schwankungen konstant verhielten. Faktor 5 konnte also von vornherein als irrelevant verworfen werden. Nach diesen Überlegungen wäre zur statistischen Untersuchung der Meßergebnisse eine vierfache Varianzanalyse anzuwenden.

---

* Nach Unterweisung durch Herrn Dipl.-Math. Gulbinat, Biometrisches Institut, Tübingen (Direktor: Prof. Dr. P. Geppert).

Durch gesonderte Untersuchung der drei einzelnen Krankheitsgruppen mußte Faktor 1 in der statistischen Analyse nicht mehr berücksichtigt werden, so daß für Normotoniker, labile und fixierte Hypertoniker je eine dreifache Varianananalyse angewandt wurde.

Folgendes Modell wurde aufgestellt:

$$X_{\alpha\beta\gamma j} = \mu + \mu_{\alpha}^{B} + \mu_{\beta}^{Z} + m_{\gamma}^{P} + \mu_{\alpha\beta}^{BZ} + m_{\alpha\gamma}^{BP} + m_{\beta\gamma}^{ZP} + m_{\alpha\beta\gamma}^{BZP} + 1_{\alpha\beta\gamma j}$$

Dabei bedeutet:

$\alpha = 1, 2$ (= h) = Badeart: flüssig, gasförmig

$\beta = 1, 2, 3$ (= k) = Zeitpunkt: vor, während, nach dem Bad

$\gamma = 1, 2..15$ (= l) = Versuchspersonen
9
11

$j = 1, 2..10$ (= n) = Nummer der Blutdruckmessung

$$\sum_{\alpha} \mu_{\alpha}^{B} = \sum_{\beta} \mu_{\beta}^{Z} = \sum_{\alpha} \mu_{\alpha\beta}^{BZ} = \sum_{\beta} \mu_{\alpha\beta}^{BZ} = 0$$

$$E(m_{\gamma}^{P}) = E(m_{\alpha\gamma}^{BP}) = E(m_{\beta\gamma}^{ZP}) = E(m_{\alpha\beta\gamma}^{BZP}) = E(1_{\alpha\beta\gamma j}) = 0$$

alle m_{γ}^{P}, $m_{\alpha\gamma}^{BP}$, $m_{\beta\gamma}^{ZP}$, $m_{\alpha\beta\gamma}^{BZP}$, $1_{\alpha\beta\gamma j}$) unkorreliert und normalverteilt.

Die ($1_{\alpha\beta\gamma j}$) sind unabhängig normalverteilt mit Mittelwert Null und Varianz σ^2. Die Faktoren B und Z sind fest, während der Faktor P ein zufälliger ist.

μ = allgemeiner Mittelwert

μ_{α}^{B} = Haupteffekt bezüglich der Badeart ($\alpha = 1, 2$). Unterschied zwischen dem mittleren P_m der α-ten Badeart und dem allgemeinen Mittelwert (Mittelwert sämtlicher Einzeldrucke).

μ_{β}^{Z} = Haupteffekt bezüglich der Zeitpunkte ($\beta = 1, 2, 3$). Unterschied zwischen dem mittleren P_m des β-ten Zeitpunktes und dem allgemeinen Mittelwert.

m_{γ}^{P} = Haupteffekt bezüglich der Patienten. Unterschied zwischen dem mittleren P_m des γ-ten Patienten und dem allgemeinen Mittelwert.

$\mu_{\alpha\beta}^{BZ}$ = Wechselwirkung zwischen Faktor "Badeart" und Faktor "Zeitpunkt" (für alle α, β). Ist beispielsweise die Differenz des mittleren arteriellen Mitteldruckes zwischen der Vorperiode und dem Bad in der ersten Badeart verschieden von der Differenz Vorperiode: Bad in der zweiten Badeart, so treten Wechselwirkungen zwischen Badeart und Zeitpunkt auf.

$m_{\alpha\gamma}^{BP}$ = Wechselwirkungen zwischen Faktor "Badeart" und Faktor "Patient" treten auf, wenn die beiden Faktoren sich gegenseitig beeinflussen; d.h. wenn sich z.B. in der ersten Badeart der mittlere P_m des 1. Patienten von dem mittleren P_m des 2. Patienten stärker unterscheidet als in der zweiten Badeart.

$m_{\beta\gamma}^{ZP}$ = Wechselwirkungen zwischen Faktor "Zeitpunkt" und Faktor "Patient" treten auf, wenn sich die beiden Faktoren gegenseitig beeinflussen; d.h. wenn sich z.B. zum ersten Zeitpunkt der mittlere P_m des ersten Patienten von dem mittleren P_m des 2. Patienten stärker unterscheidet als zum zweiten Zeitpunkt.

$m_{\alpha\beta\gamma}^{BZP}$ = Wechselwirkungen zwischen den Faktoren "Zeitpunkt", "Badeart" und "Patient" treten auf, wenn sich alle drei Faktoren gegenseitig beeinflussen.

Folgende Hypothesen mußten geprüft werden:

H_B: $\mu_1^B = \mu_2^B = 0$

H_Z: $\mu_{\beta}^{Z} = 0$ für alle β

H_P: $m_{\gamma}^{P} = 0$ für alle γ

H_{BZ}: $\mu_{\alpha\beta}^{BZ} = 0$ für alle α, γ

H_{BP}: $m_{\alpha\gamma}^{BP} = 0$ für alle α, γ

H_{ZP}: $m^{ZP}_{\beta\gamma} = 0$ für alle β, γ

H_{BZP}: $m^{BZP}_{\alpha\beta\gamma} = 0$ für alle α, β, γ

ERGEBNISSE

Die Hypothesen H_B und H_{ZP} konnten für alle drei Gruppen des Untersuchungsgutes bestätigt werden.
Die Überschreitungswahrscheinlichkeit betrug:

	H_B	H_{ZP}
Normotoniker	$0,10 \leq p \leq 0,20$	$p \geq 0,50$
labile Hypertoniker	$0,05 \leq p \leq 0,10$	$0,10 \leq p \leq 0,30$
fixierte Hypertoniker	$0,05 \leq p \leq 0,10$	$p \geq 0,40$

Die Hypothesen H_Z, H_P, H_{BP}, H_{BZP} mußten wir verwerfen.
Die Irrtumswahrscheinlichkeiten waren:

	H_Z	H_P	H_{BP}	H_{BZP}
Normot.	$p \leq 0,001$	$p \leq 0,001$	$0,01 \leq p \leq 0,05$	$p \leq 0,001$
labile H.	$p \leq 0,001$	$0,01 \leq p \leq 0,05$	$0,001 \leq p \leq 0,005$	$p \leq 0,001$
fixierte H.	$p \leq 0,001$	$0,001 \leq p \leq 0,005$	$p \leq 0,001$	$p \leq 0,001$

Die Überschreitungswahrscheinlichkeiten für H_{BZ} waren bei

Normotonikern	$0,10 \leq p \leq 0,30$
labilen Hypertonikern	$0,001 \leq p \leq 0,005$
fixierten Hypertonikern	$0,001 \leq p \leq 0,005$

Somit wurde H_{BZ} bei den Normotonikern akzeptiert, bei den labilen und den fixierten Hypertonikern verworfen.

1. Bezüglich der Badeart tritt kein Haupteffekt auf; d.h. der Mittelwert aller Blutdruckmessungen während des Versuchsablaufes (Vorperiode, Bad, Nachperiode) im flüssigen CO_2-Bad (wie auch im gasförmigen CO_2-Bad) zeigt keinen signifikanten Unterschied zum allgemeinen Mittelwert.

2. Bezüglich des Zeitpunktes tritt ein Haupteffekt auf. Der Unterschied zwischen dem Mittelwert aller Blutdruckmessungen zu einem bestimmten Zeitpunkt (z.B. während des Bades) und dem allgemeinen Mittelwert ist signifikant von 0 verschieden.

3. Bezüglich der Patienten tritt ein Haupteffekt auf; d.h. die Höhe des arteriellen Mitteldruckes ist vom Faktor Patient abhängig. Der Mittelwert sämtlicher Messungen bei einem Patienten unterscheidet sich signifikant von dem allgemeinen Mittelwert. Die Patienten haben also im allgemeinen ein bestimmtes, individuelles Blutdruckverhalten, d.h. während des Versuchsablaufes liegen die Blutdruckwerte der einzelnen Patienten auf voneinander verschiedener Höhe.

4. Das Auftreten von Wechselwirkungen zwischen Badeart und Zeitpunkt bedeutet im vorliegenden Fall, daß die mittleren P_m vor und im Bad in der ersten Badeart sich stärker voneinander unterscheiden als in der zweiten Badeart; das setzt natürlich voraus, daß sie sich mindestens in einer Badeart unterscheiden. Somit kann von dem Nichtverschwinden der Wechselwirkung "Badeart" und "Zeitpunkt" auf einen Einfluß des Zeitpunktes und der Badeart auf die Blutdruckhöhe geschlossen werden, auch wenn der Haupteffekt "Badeart" nicht signifikant von 0 verschieden ist.
   Aus den empirischen Werten geht dann hervor, daß es in der 1. Badeart (flüssiges CO_2-Bad) zu einem stärkeren Abfall des mittleren arteriellen Mitteldruckes kommt als in der 2. Badeart (gasförmiges CO_2-Bad).

5. Wenn Wechselbeziehungen zwischen Badeart und Patient auftreten, so bedeutet dies, daß die signifikanten Unterschiede des Blutdruckes zwischen den Patienten in der ersten Badeart nicht in der gleichen Größenordnung liegen wie in der zweiten Badeart. So bleibt der Blutdruckmittelwert während des Versuchsablaufes im flüssigen CO_2-Bad, verglichen mit dem Mittelwert während des Versuchsablaufes im gasförmigen CO_2-Bad, z.B. bei Patient Nr. 6 der labilen Hypertoniker, unverändert, beim 7. Patienten ist er erniedrigt, während er bei Patient Nr. 8 erhöht ist. Im Mittel kompensieren sich diese Unterschiede - Haupteffekt "Badeart"

tritt also nicht auf. Trotzdem hat die Badeart offenbar einen Einfluß auf den Blutdruck des Patienten.

Auf empirische Werte bezogen erkennen wir, daß die Patienten in den Bädern nicht einheitlich reagieren. Bei einem großen Teil der Patienten ist die Reaktion im CO_2-Wasserbad stärker ausgeprägt, d.h. der Blutdruck fällt weiter ab als im CO_2-Gasbad, während bei dem anderen Teil unserer Untersuchten im CO_2-Gasbad eine deutlichere Blutdruckreaktion zu verzeichnen war.

Diese Ergebnisse gelten sowohl für Normotoniker, als auch für labile und fixierte Hypertoniker.

Student-Fisher-Test (Mittelwertsvergleich unabhängiger Stichproben)

Die dreifache Varianzanalyse hat ergeben, daß bei beiden Hypertonieformen eine Änderung des Blutdruckes während des Bades eintritt. Mit Hilfe des Student-Fisher-Testes sollte nun untersucht werden, ob der Blutdruckabfall im CO_2-Bad bei labilen Hypertonikern stärker ausgeprägt ist als bei fixierten Hypertonikern.

Es wurde die Hypothese aufgestellt (je für das flüssige und das gasförmige CO_2-Bad)

H_O: Die mittlere Differenz des arteriellen Mitteldruckes

Vorperiode : Bad ist bei der Gruppe der labilen Hypertoniker gleich der Differenz bei der Gruppe der fixierten Hypertoniker.

Diese Hypothese mußte bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit

$$0,005 \leq p \leq 0,01$$

bzw. $0,025 \leq p \leq 0,05$

verworfen werden.

Ergebnis:

Sowohl im flüssigen, als auch im gasförmigen Kohlensäurebad ist die Differenz des P_m von der Vorperiode zum Bad bei den labilen essentiellen Hypertonikern größer als bei den fixierten Hypertonikern. Bei den Patien-

ten mit labilem Hypertonus kommt es also in CO_2-Wasser- und Gasbädern zu einem wesentlich stärkeren Absinken des arteriellen Mitteldruckes als bei den Patienten mit fixiertem Hypertonus.

E. DISKUSSION

I. BISHERIGE UNTERSUCHUNGEN

Die zahlreichen, von vielen Autoren durchgeführten Messungen des arteriellen Blutdruckverhaltens im Kohlensäure-Einzelbad haben sehr unterschiedliche Resultate ergeben.

Schon 1880 schrieb A. SCHOTT (64) dem Kohlensäure-Wasserbad eine "vorsichtige Anregung des Herzens zu vermehrter Tätigkeit" zu und fand bei gleichzeitiger Abnahme der Puls- und Atemfrequenz eine Erhöhung des Blutdruckes. Auch O. MÜLLER (52) beobachtete im künstlichen Kohlensäurebad von 28 - 35° C stets ein Ansteigen des Blutdruckes, eine Volumenabnahme der Extremitäten und im Sphygmogramm "Zeichen für eine Tonisierung der Gefäße". Er mahnte sogar zu größter Vorsicht, wenn im Bad Nauheimer Sprudelbad eine Senkung des Blutdruckes eintrat. Nur im warmen Bade konnte er eine Drucksenkung feststellen. Dies brachte ihn zu der Schlußfolgerung, daß der stärkste Einfluß eines Kohlensäurebades in seiner Temperaturwirkung liegen müsse. STRASBURGER erhielt 1914 (71) mit gleicher Methodik in seinen Versuchen mit Bad Nauheimer Kohlensäurebädern Ergebnisse, die denjenigen Müllers und seiner Schule widersprachen und für Untersuchungen in Kohlensäurebädern zukunftsweisend waren. Er fand bei gesunden Versuchspersonen nicht nur in indifferent temperierten, sondern auch in kühlen Kohlensäurebädern fast regelmäßig eine Erniedrigung der Widerstände im arteriellen System und damit ein Absinken des Blutdruckes. Er sprach den natürlichen kohlensäurehaltigen Bädern eine ausgesprochene gefäßerweiternde Wirkung zu.
Eine Reihe späterer Untersuchungen haben gezeigt, daß es im thermisch indifferenten Kohlensäurebad (sowohl im flüssigen als auch im gasförmigen) kaum je zu einem nennenswerten Anstieg des arteriellen Druckes kommt.

Viele Autoren bestätigten im Gegenteil, daß in indifferenten Kohlensäurebädern in der Regel systolische und diastolische Druckwerte sowie die Herzfrequenz abfallen. Dieser Blutdruckabfall wird durch drei Faktoren erklärt:

1. Zunahme der Dehnbarkeit der Aorta (32)
2. Verminderung des peripheren Widerstandes im großen Kreislauf durch Gefäßdilatation. Durch einen spezifischen Reiz der Kohlensäure auf die Hautgefäße, der vermutlich humoral (Acetylcholin, H-Substanzen) vermittelt wird, kommt es zu einer Erweiterung der Kapillaren und Arteriolen und zur Eröffnung vorher leerer Hautgefäße. (4, 21, 38, 87).
3. Verlängerung der Austreibungszeit, die verkleinernd auf die Blutdruckamplitude und damit auf den mittleren Blutdruck wirkt (31).

Es seien hier die Arbeiten von LILJESTRAND und MAGNUS (1922), GROEDEL (1925), BORNSTEIN, BUDELMANN und RÖNELL (1931), PARADE (1932), BISCHOFF und PAETSCH (1936), REICHEL und PALME (1952) erwähnt.
Von LANGE und STÖRMER (1927), WEBER (1936), OTT und HENTSCHEL (1959), WIESNER (1951) und in letzter Zeit von HORNBACHER (1966) wurde betont, daß der pathologisch erhöhte Blutdruck in ganz besonderem Maße durch Kohlensäurebäder günstig zu beeinflussen sei.

II. ZUSAMMENFASSUNG DER EIGENEN ERGEBNISSE

Die akute Wirkung des thermisch indifferenten Kohlensäure-Wasserbades auf den Blutdruck von 35 Versuchspersonen führte in fast allen Fällen gleichzeitig mit dem Auftreten einer deutlichen Hautröte zu einer Senkung sowohl der systolischen, als auch der diastolischen Druckwerte - allerdings in sehr verschiedenem Maße.

Normotoniker: Bei 12 von 15 Versuchspersonen sank der arterielle Mitteldruck im Durchschnitt um 7,5 % leicht ab. Blutdruckamplitude und Pulsfrequenz zeigten während des Bades keine Veränderung.

Labile essentielle Hypertoniker: Nach unseren Untersuchungen wurden bei Patienten mit essentieller labiler Hypertonie die weitaus stärksten Blutdrucksenkungen erreicht. Ohne Ausnahme kam es in allen Fällen zu einer deutlichen Senkung der systolischen und diastolischen Druckwerte; durchschnittlich sank der arterielle Mitteldruck um 21 %. Die Blutdruckamplitude blieb unverändert. Die Pulszahl war gering erniedrigt. Die Patienten äußerten ausgesprochenes Wohlbefinden im Bade.

Fixierte Hypertoniker: Auch in der Gruppe der Patienten mit fixiertem Hochdruck und deutlich erhöhten diastolischen Werten konnten bei 9 von 11 Patienten noch ein geringer, statistisch aber signifikanter Blutdruckabfall erzielt werden. Nur bei 2 Probanden (Patient mit Diabetes mellitus, Nierenschaden, Hyperlipaemie und Patient mit chronischer Pyelonephritis) erhöhte sich der Blutdruck um einige mmHg. Im Durchschnitt fiel der arterielle Mitteldruck um 10 % ab, die Blutdruckamplitude verhielt sich konstant, während die Pulsfrequenz eine geringe Verlangsamung zeigte.

Die akute Wirkung des thermisch indifferenten Kohlensäure-Gasbades auf den Blutdruck von 35 Versuchspersonen (es handelte sich um die gleichen Patienten wie im Wasserbad) führte in der Mehrzahl der Fälle zu einer meist nur geringen Senkung der systolischen und diastolischen Druckwerte.

Normotoniker: Der normotone Blutdruck änderte sich während des gasförmigen Kohlensäurebades nicht wesentlich. Bei der überwiegenden Zahl der Untersuchten fiel der Blutdruck zwar um wenige Millimeter, während er bei einigen Patienten sogar leicht anstieg. Die Pulsfrequenz zeigte ebenfalls keine einheitliche Reaktion - teils nahm sie um einige Schläge pro Minute ab, teils erhöhte sich die Schlagzahl gering.

Labile essentielle Hypertoniker: Im Kohlensäure-Gasbad konnte nur bei Patienten mit labiler essentieller Hypertonie ein wesentlicher Einfluß auf den Blutdruck festgestellt werden. Ohne Ausnahme reagierten alle Patienten mit deutlicher Senkung der systolischen und diastolischen Druckwerte. Der arterielle Mitteldruck sank im Durchschnitt um 11 mmHg. Die Blutdruckamplitude zeigte eine Reduktion von 10 mmHg.

Die Pulsfrequenz verhielt sich, abgesehen von minimalen Schwankungen, konstant.

Fixierte Hypertoniker: Bei den Patienten mit konstant pathologisch erhöhtem Blutdruck konnte im Mittel zwar eine Senkung des systolischen Druckes um 10 mmHg erreicht werden, doch blieb der bei dieser Krankheitsgruppe besonders interessierende diastolische Druck weitgehend unverändert. So fiel der arterielle Mitteldruck durchschnittlich nur minimal ab, die Druckamplitude verkleinerte sich gering und die Pulsfrequenz zeigte bei allen Patienten eine geringfügige Beschleunigung.

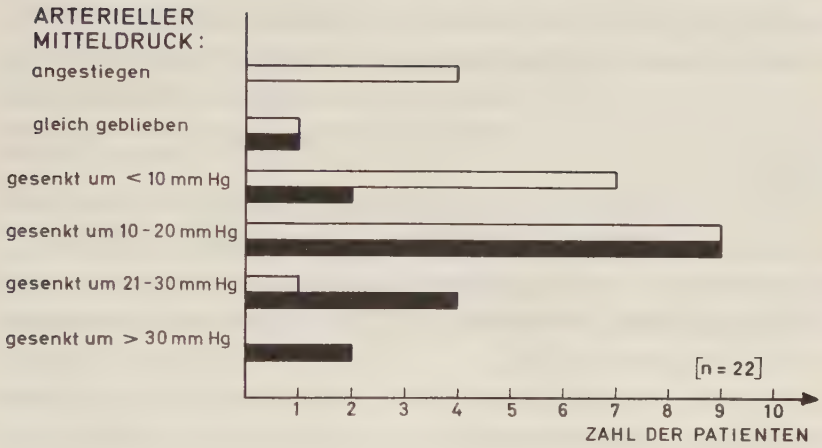


Abb. 17 Verhalten des arteriellen Mitteldruckes (P_m) im Kohlensäurebad (flüssig : gasförmig = 1 : 1) bei fixiertem (▭ n = 22) und labilem (▬ n = 18) Hypertonus.

III. VERGLEICH DER WIRKUNG VON KOHLENSÄURE-WASSER- MIT KOHLENSÄURE-GASBÄDERN

Vergleichen wir die Wirkung von gasförmigen Kohlensäurebädern mit derjenigen von flüssigen, so können wir feststellen, daß die verschiedenen Reaktionen mindestens in ihrer Richtung in beiden Badearten gleich verlaufen. Durch die spezifische Wirkung der Kohlensäure auf die Hautgefäße kommt es im gasförmigen Kohlensäurebad ebenfalls, wenn auch vergleichsweise schwächer, zu einer streng lokalen Steigerung der Hautdurchblutung durch Kapillarerweiterung, Strömungsbeschleunigung und Eröffnung neuer Kapillaren (1, 87).
Außer der spezifischen Wirkung der Kohlensäure muß im Wasserbad noch der Einfluß der Hydrostatik berücksichtigt werden. Der hydrostatische Druck, der mit der Eintauchtiefe linear zunimmt, führt zu einer Volumenverschiebung aus dem extrathorakalen in den intrathorakalen Bereich des Niederdrucksystems (67, 14).
Im Fortfall des hydrostatischen Druckes im Kohlensäure-Gasbad liegt zweifellos ein beträchtlicher Unterschied zum flüssigen Kohlensäurebad. Die dadurch bedingte geringere Belastung von Herz und Kreislauf läßt CO_2-Gasbäder auch noch bei Herzkranken zur Anwendung kommen, bei denen CO_2-Wasserbäder aus diesem Grund schon kontraindiziert sind. Im Kohlensäure-Gasbad wird also, unter Vermeidung der hydrostatischen Belastung, nur die Wirkung der Kohlensäure auf den peripheren Kreislauf genützt.

Betrachten wir die Untersuchungsergebnisse unserer Versuchspersonen hinsichtlich ihres Blutdruckverhaltens im flüssigen und gasförmigen Kohlensäurebad, so kann eindeutig festgestellt werden, daß das Kohlensäure-Wasserbad bei denselben Patienten eine wesentlich stärkere Änderung des Blutdruckes bewirkt. Der arterielle Mitteldruck P_m fiel im Kohlensäure-Gasbad bei 35 Patienten durchschnittlich nur um 5 mmHg (5 %) ab. Dieser niedrige Durchschnittswert schließt die Gruppe der Normotoniker und fixierten Hypertoniker, bei denen keine wesentliche Druckänderung erreicht wurde, mit ein. Im flüssigen Kohlensäure-Bad sank bei den gleichen Patienten der Druck im Mittel um 14 mmHg (13 %).

Vergleichen wir nur die Gruppe der labilen essentiellen Hypertoniker, die in beiden Bädern die deutlichste Senkung aufwies, so stellen wir ebenfalls fest, daß das Kohlensäure-Wasserbad eine stärkere depressorische Wirkung auf den Blutdruck ausübt. (Abfall des arteriellen Mitteldruckes von 9,5 % im CO_2-Gasbad - von 21 % im CO_2-Wasserbad).

Die Blutdruckamplitude blieb im Kohlensäure-Wasserbad im Mittel konstant. Im Kohlensäure-Gasbad war eine deutliche Tendenz zur Amplitudenreduktion zu verzeichnen, die durch das stärkere Absinken des Maximaldruckes, verglichen mit dem Minimaldruck bedingt war.

Die Pulsfrequenz zeigte in der Mehrzahl der Fälle im Kohlensäure-Wasserbad eine Verlangsamung um einige Schläge pro Minute, während sie im gasförmigen Kohlensäurebad im Durchschnitt geringfügig anstieg.

Das unterschiedliche Verhalten in den beiden Badearten bei Hypertonikern, deren Blutdruckreaktion uns besonders interessierte, ist in Abb. 18 dargestellt.

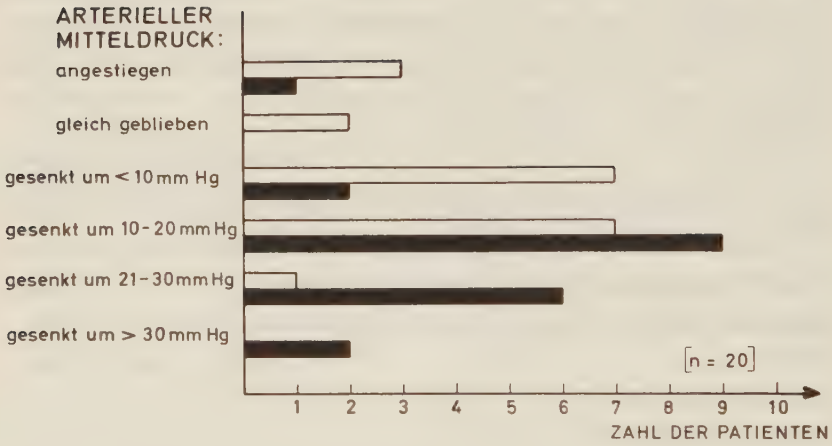


Abb. 18 Vergleich der Wirkung des flüssigen Kohlensäurebades (▭) mit dem Kohlensäure-Gasbad (▬) auf den arteriellen Mitteldruck P_m von 20 Hypertonikern.

IV. VERGLEICH UNSERER ERGEBNISSE MIT DENJENIGEN ANDERER AUTOREN

Die vielen Beobachtungen des aktuellen Blutdruckverhaltens im Kohlensäure-Einzelbad erzielten keine einheitlichen Ergebnisse. Versuchsbedingungen wie Badetemperatur, Badedauer, Auswahl der Patienten und die Methode der Blutdruckmessung waren oft so verschieden, daß nicht alle Ergebnisse miteinander verglichen werden können. Aber auch bei weitgehend gleicher Versuchsanordnung kamen nicht alle Autoren zu übereinstimmenden Befunden (s. Abb. 19).

Im Gegensatz zu unseren Ergebnissen, die eine Senkung des arteriellen Druckes in Kohlensäure-Bädern ergaben, stehen die Befunde von O. MÜLLER (52) und seiner Schule. In seinen Versuchen mit Kohlensäure-Wasserbädern stellte er bei Indifferenztemperatur stets einen Anstieg der Blutdruckwerte fest. Nach seiner Auffassung war im Blutdruckverhalten in Kohlensäurebädern kein Unterschied zu einfachen Süßwasserbädern zu beobachten. Als entscheidenden Wirkungsfaktor bezeichnete er auch in Kohlensäurebädern die Temperatur, wobei ein warmes Bad den Blutdruck senke, ein Bad unterhalb 35° C aber stets eine Drucksteigerung hervorrufe. Müller arbeitete mit künstlichen Kohlensäurebädern, bei denen es zu einer starken Anreicherung der Luft mit Kohlensäure kam (es wurden einmal 17 Vol.% CO_2 in der Luft über der Badewanne gemessen). Wie PARADE (56) durch Vergleichsuntersuchungen beweisen konnte, führt die Inhalation selbst geringer Mengen Kohlensäure zu einer Reizung des Vasomotorenzentrums mit Blutdrucksteigerung. Die Ergebnisse Müllers lassen sich wohl erklären als Interferenz zwischen dem blutdrucksenkenden peripheren Effekt der Kohlensäure und der blutdrucksteigernden Wirkung der inhalierten Kohlensäure.
Auch FISCHER (12) beobachtete im thermoindifferenten Kohlensäure-Wasserbad meist ein leichtes Ansteigen des Blutdruckes mit geringer Amplitudenvergrößerung.

Schon 1914 konnte STRASBURGER (71) in Bad Nauheimer Sprudelbädern auch bei indifferenter Temperatur an gesunden Versuchspersonen gleich

nach dem Einsteigen in das Bad ein Sinken des Blutdruckes um 10 mmHg unter den Ausgangswert beobachten. Dieser Wert entspricht etwa unseren Befunden bei Normotonikern. Zu denselben Ergebnissen an herzgesunden Patienten führten die Untersuchungen von BISCHOFF und PAETSCH (2), die im Bad Oeynhausener Sprudel ein Absinken der systolischen Werte im Mittel um 12 % erzielten, bei gering sinkender Pulszahl und nahezu gleichbleibender Amplitude.

GROEDEL und McCELLAN (27) fanden bei fortlaufender Blutdruckkontrolle bei Normotonikern im indifferenten Kohlensäurebad und im warmen Süßwasser nur eine minimale Beeinflussung des Blutdruckes. LILJESTRAND u. MAGNUS (47) und BORNSTEIN, BUDELMANN u. RÖNELL (3) konnten im Kohlensäurebad von 33° C trotz Auftreten einer starken Erweiterung der Hautgefäße mit deutlichem subjektivem Wärmegefühl keine wesentliche Blutdruckänderung beobachten. Die Autoren machen allerdings keine genauen Angaben über die Auswahl ihrer Patienten.

HERKEL (32) verglich im thermoindifferenten Kohlensäure-Wasserbad die Blutdruckreaktion von Normotonikern und Hypertonikern. Bei 4 von 5 gesunden Versuchspersonen fiel der Blutdruck im Mittel um 7,6 % ab. Bei allen Hypertonikern trat zwar eine Senkung auf, aber in geringerem Maße (5 %). Diese minimale Blutdrucksenkung bei Hypertonikern, die noch geringer ausgeprägt ist als bei Normotonikern, steht im Gegensatz zu den Befunden von HEDIGER (29), LANGEBARTELS (46), WEBER (80), OTT u. HENTSCHEL (54) und auch unserer Ergebnisse. Dies läßt sich dadurch erklären, daß die 3 von Herkel im thermoindifferenten Kohlensäure-Wasserbad untersuchten Hypertoniker Fälle mit deutlich erhöhten diastolischen Druckwerten und Myocardschaden waren. Bei Arteriosklerotikern hatte SCHOLTZ (63) in Kohlensäure-Wasserbädern eine geringere systolische und diastolische Blutdruckveränderung beobachtet als bei jugendlichen Versuchspersonen.

Im Einklang mit den folgend aufgeführten Autoren stehen unsere Befunde, die ergaben, daß die Wirkung des Kohlensäurebades auf den Blutdruck von Hypertonikern in ihrer Art im wesentlichen der Einwirkung bei Normotonikern entspricht, daß aber alle Ausschläge signifikant stärker ausgeprägt

sind. Insbesondere bei labilem essentiellen Hochdruck kommt es im Kohlensäurebad zu einer erheblichen aktuellen Blutdrucksenkung.
HEDIGER (29) hatte schon 1921 im Kohlensäure-Wasserbad ein deutliches Absinken des Blutdruckes bei Hypertonikern beschrieben.
LANGE und STÖRMER (45) erzielten in Kohlensäure-Einzelbädern von 33° C und 8 Minuten Dauer bei Hypertonikern eine Senkung des Blutdruckes bis maximal 50 mmHg und eine Verlangsamung der Pulsfrequenz. Kapillarmikroskopisch beobachteten sie eine Erweiterung oder auch eine Verengerung der Kapillaren, stets aber eine schnellere Blutströmung.
LANGEBARTELS (46) fand in Bad Nauheim bei 114 verabreichten Bädern zwischen 32 und 36° C nur in 9 Fällen einen Anstieg des Maximaldruckes, sonst stets eine Senkung. Die deutlichste Einwirkung der Kohlensäurebäder auf den Blutdruck registrierte er bei Patienten mit leichter Hypertonie und einer Badetemperatur von 32° C. Bei schweren Hypertonien fand er manchmal eine entgegengesetzt Wirkung - dauernder Anstieg des Druckes im Bad.

WEBER (79, 80) fand im Bad Nauheimer-Kohlensäurebad in zahlreichen Messungen meistens eine Senkung des Blutdruckes, die beim Hypertoniker stärker ausgeprägt war als beim Normotoniker. Er stellte fest, daß eine Hypertension, so lange sie noch nicht fixiert ist, im Sprudelbad absinkt und zwar um so ausgesprochener, je höher der Ausgangswert lag.
Auch OTT und HENTSCHEL (54) betonten den günstigen Einfluß von Kohlensäure-Wasserbädern auf die Ökonomie der Kreislaufarbeit. Bei ihren Versuchen sank der periphere Widerstand - und bei Hypertonikern der Blutdruck - ab. Insbesondere bei labilem Hypertonus kam es zu einem stärkeren Abfall der Blutdruckwerte.

Vergleichen wir unsere Untersuchungsergebnisse im Kohlensäure-Gasbad mit den Befunden anderer Autoren, so stimmen wir mit KROETZ und WACHTER (41) überein, daß die Reaktionen im Gasbad nicht so stark ausgeprägt sind wie im Wasserbad. KROETZ und WACHTER führen diesen Befund auf drei Ursachen zurück:

1. Das Konzentrationsgefälle der Kohlensäure in Richtung Bad zu Haut ist nicht so groß.

2. Die Hautporen können nicht so aufgeschlossen werden wie im Wasserbad.
3. Wegfall des hydrostatischen Druckes.

Bei Normotonikern, die in unseren Versuchen im Gasbad keine wesentliche Blutdruckreaktion zeigten, fanden auch SCHNELLE (62) und SCHULTZ und AMELUNG (68) nur ein minimales Absinken der Blutdruckwerte.
Unsere Ergebnisse bei labilen essentiellen Hypertonikern haben etwa dasselbe Ausmaß der Senkung wie sie von KRETSCHMER (40) in Bad Meinberg (allerdings bei Temperaturen von 15 bis 16° C !), SCHNELLE (62) und PARADE (56) beobachtet wurden. REICHEL und PALME (59) beschrieben in fast allen Fällen von erhöhtem Blutdruck schon im ersten Kohlensäure-Gasbad einen deutlichen Abfall. Der systolische Druck pflegte dabei stärker abzunehmen als der diastolische, so daß sich eine Verminderung der Blutdruckamplitude ergab. In letzter Zeit berichtete HORNBACHER (37) ebenfalls von einer guten Beeinflussung des pathologisch erhöhten Blutdruckes durch Kohlensäure-Gasbäder. Bei essentiellem labilem Hypertonus konnte er wesentliche Blutdrucksenkungen beobachten; aber auch bei Hypertonien mit beginnender Nierenschädigung registrierte er - im Gegensatz zu unseren Befunden bei fixiertem Hypertonus - noch deutliche Blutdruckabfälle, so daß durchschnittlich der systolische Druck um 30 mmHg und der diastolische um 20 mmHg unter dem Ausgangswert lagen. Die Blutdrucksenkung war bei seinen Versuchen, in denen er vergleichsweise Temperaturen zwischen 28 und 40° C zur Anwendung brachte, bei 32° C am stärksten ausgeprägt.
Über extreme Drucksenkungen bei gesunden Versuchspersonen, besonders aber bei essentieller labiler Hypertonie in Bad Sodener Kohlensäure-Gasbädern von 18° C berichtete WIESNER (83). Er registrierte periodisch alle drei Minuten den Blutdruck und beobachtete einen sehr starken Abfall, besonders initial in den ersten drei Minuten, den er nicht nur auf lokale Gefäßmechanismen, sondern vor allen Dingen auf reflektorische Vorgänge zurückführte. Der systolische Blutdruck sank im Mittel um über 30 %, der diastolische Druck um 40 %. Diese außerordentlich starke Drucksenkung findet sich sonst nirgends in der Literatur. WIESNER führte seine Messungen in natürlichen Kohlensäure-Gasbädern durch - es bleibt die Frage, ob

möglicherweise zwischen natürlicher Kohlensäure, die der Erde entströmt und künstlicher Kohlensäure ein Unterschied besteht; vielleicht sind die Beimengungen des natürlichen Kohlensäuregases therapeutisch nicht ganz ohne Bedeutung (56).
Im Gegensatz zu all diesen Befunden stehen die Ergebnisse von DIRNAGL und KAMM (6), die im Kohlensäure-Gasbad bei einer Temperatur von 42° C einen Anstieg des Blutdruckes erzielten, der aber gegen Ende des Bades ebenfalls in eine Senkung umschlug. Auch die Pulsfrequenz nahm während des Bades erheblich zu. In diesen Versuchen kommt wohl nicht nur die spezifische Wirkung der Kohlensäure zur Geltung; die Reaktionen könnten bei diesen hohen Temperaturen überwiegend auf wärmeabhängigen Umstellungen beruhen.
WITZLEB (87) erklärt die uneinheitlichen Befunde in Kohlensäure-Gasbädern zum Teil damit, daß im Rahmen des relativ breiten Thermoindifferenzbereiches subjektiv zwar nicht merkbare, objektiv aber schon wirksame Unterschiede in den Versuchsbedingungen vorgelegen haben.

Unsere Befunde hinsichtlich der Blutdruckamplitude sind nicht einheitlich. Im flüssigen Kohlensäurebad blieb sie in fast allen Fällen konstant, da sich Maximaldruck und Minimaldruck häufig gleichsinnig bis zum parallelen Verlauf veränderten.
Auch BORNSTEIN, BUDELMANN und RÖNELL (3) beobachteten keine Veränderung, während GROEDEL und McCELLAN (27) und FISCHER (13) eine Amplitudenvergrößerung feststellten. HERKEL fand, daß infolge des bei Hypertonie im Kohlensäurebad deutlich verminderten Volumenelastizitätskoeffizienten der Aorta sich die Amplitude des arteriellen Druckes bei Hypertonikern prozentual mehr verkleinere als bei normaler Blutdrucklage. In Übereinstimmung mit REICHEL und PALME (59) stellten wir im Kohlensäure-Gasbad durchschnittlich ein stärkeres Absinken des systolischen als des diastolischen Druckes und damit eine geringe Amplitudenreduktion fest.

Im thermoindifferenten Kohlensäure-Wasserbad registrierten wir überwiegend eine geringe Pulsverlangsamung. Die Mehrzahl der Autoren wie z.B. WEBER (81), FISCHER (13), BISCHOFF und PAETSCH (2) und PARADE (56)

fanden stets einen Abfall der Pulszahl. GOLLWITZER-MEIER (23) führte die Abnahme der Pulsfrequenz im Kohlensäurebad auf das Absinken der Bluttemperatur und die dadurch ausgelösten Reflexmechanismen zurück. GROEDEL (26) beobachtete eine geringe Pulszahlsteigerung.

Im gasförmigen Kohlensäurebad finden sich sehr widersprechende Angaben über das Verhalten der Pulsfrequenz. REICHEL und PALME (59) beschrieben eine Abnahme, KRETSCHMER (40) und WIESNER (83) keine Veränderung und PIETSCH (58) und HORNBACHER (37) eine leichte Steigerung. Auch in unseren Versuchen läßt sich in Bezug auf die Pulsfrequenz im Kohlensäure-Gasbad keine einheitliche Reaktion erkennen.

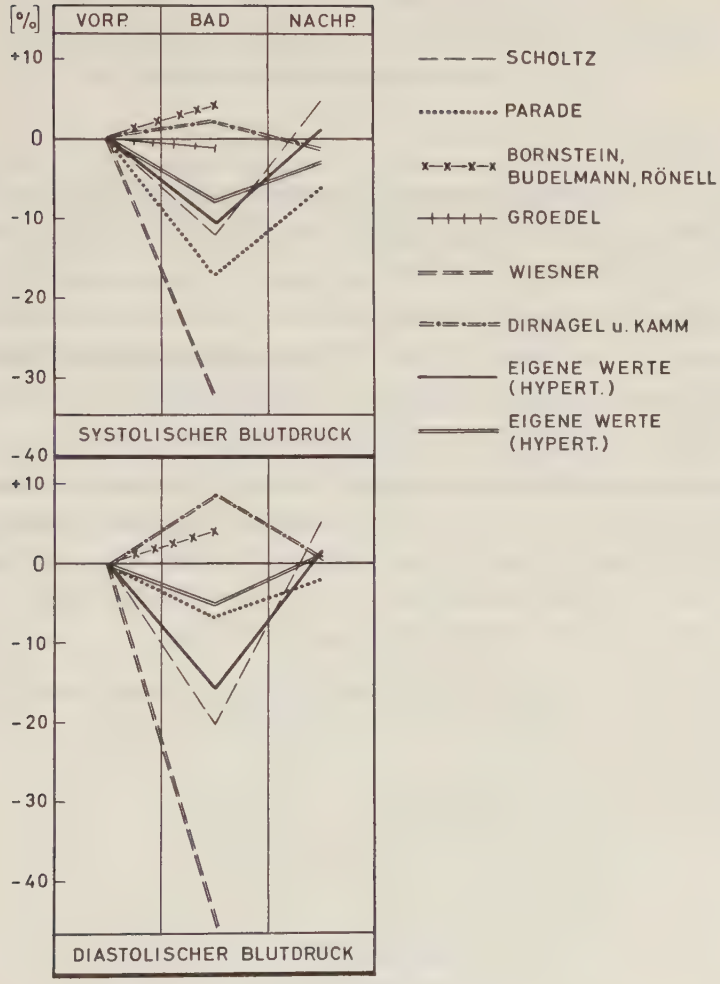


Abb. 19 Vergleichende Gegenüberstellung von Blutdruckveränderungen durch Kohlensäure-Wasser- und Gasbäder bei verschiedenen Autoren.

Einfachstriche = Kohlensäure-Wasserbäder
Doppelstriche = Kohlensäure-Gasbäder
(nach Dirnagel und Kamm 1955)

F. ZUSAMMENFASSUNG

Bisher wurde die akute Wirkung von Kohlensäurebädern auf Blutdruck- und Pulsverhalten in gesonderten Untersuchungen jeweils für das CO_2-Gasbad und das CO_2-Wasserbad beschrieben.

Um erstmalig vergleichbare Werte zu erhalten, führten wir unsere Untersuchungen über das Aktualverhalten des Blutdruckes im thermisch indifferenten flüssigen Kohlensäurebad und im gasförmigen Kohlensäurebad bei den gleichen Versuchspersonen durch.

Wir untersuchten Normotoniker (15 VP), labile Hypertoniker (9 VP) und fixierte Hypertoniker (11 VP). Bei jeder Versuchsperson wurde an drei aufeinanderfolgenden Tagen ein Leerversuch, ein flüssiges und ein gasförmiges Kohlensäurebad durchgeführt. Jeder Versuch gliederte sich in Vorperiode (45 min), Bad (10 min) und Nachperiode (45 min).

Die fortlaufende Blutdruckmessung und Pulsfrequenzregistrierung erfolgte mit dem Gerät CUSTOCOR CM 4 der Firma Vogel, Gießen.

Wir erhielten folgende Ergebnisse:

Im Durchschnitt sank der arterielle Mitteldruck (P_m)

im Kohlensäure-Wasserbad	
bei Normotonikern	um 7,5 %
labilen Hypertonikern	um 21 %
fixierten Hypertonikern	um 10 %
im Kohlensäure-Gasbad	
bei Normotonikern	um 2 %
labilen Hypertonikern	um 9,5 %
fixierten Hypertonikern	um 2,5 %

1. Bei den Patienten mit labilem Hypertonus kam es also sowohl im Kohlensäure-Wasser- als auch im Kohlensäure-Gasbad zu einem signifikant stärkeren Abfall des arteriellen Mitteldruckes als bei den Patienten mit fixiertem Hypertonus oder normotonen Blutdruckwerten.

2. Der Vergleich der Wirkung des thermoindifferenten Kohlensäure-Wasserbades auf den Blutdruck von 35 Versuchspersonen mit der Wirkung des Kohlensäure-Gasbades auf das Blutdruckverhalten derselben Patienten ergab, daß in beiden Bädern die Reaktionen zwar gleichartig, doch in verschieden starkem Ausmaß abliefen. Es konnte eindeutig festgestellt werden, daß das Kohlensäure-Wasserbad eine wesentlich stärkere Senkung des Blutdruckes bewirkt.

3. Im flüssigen Kohlensäurebad konnte im Durchschnitt eine Verlangsamung der Pulsfrequenz um einige Schläge pro Minute festgestellt werden, während im gasförmigen Kohlensäurebad im Mittel keine nennenswerte Änderung der Pulsfrequenz auftrat.

G. LITERATURVERZEICHNIS

1. BENATT, A.: Das Verhalten der Hautkapillaren unter dem Einfluß von CO_2-Gasbädern.
   Z.f.klin.Med. 126, 485 (1934)

2. BISCHOFF, M. u. PAETSCH, L.: Untersuchungen über Blutdruck und Pulsfrequenz im Bade.
   Med.Welt, 45 (1936) I

3. BORNSTEIN, A., BUDELMANN, G. u. RÖNELLS, S.: Das Minutenvolumen des Herzens in Bädern.
   Z.f.klin.Med. 118, 596 (1931)

4. COBET, R. u. von HAEBLER, T.: Über den Einfluß von Kohlensäure-Gasbädern auf den Menschen.
   Z.f.klin.Med. 112, 134 (1930)

5. v. DIRINGSHOFEN, H.: Die Wirkung des hydrostatischen Druckes des Wasserbades auf die venöse Seite des Blutkreislaufsystems.
   Z.f.Kreislaufforschung, 37, 321 (1948)

6. DIRNAGL, K. u. KAMM, S.: Experimentelle Ergebnisse über Kreislaufwirkungen von Kohlensäuregasbädern.
   Arch.physik.Therapie, 7, 122 (1955)

7. DODT, E.: Die Aktivität der Thermoreceptoren bei nicht thermischen Reizen bekannter thermoregulatorischer Wirkung.
   Pflüg.Arch.f.d.ges.Physiologie, 263, 188 (1956)

8. EBBEKE, U.: Die lokale vasomotorische Reaktion der Haut und der inneren Organe.
   Pflüg.Arch.f.d.ges.Physiologie, 169, 1 (1917)

9. ECKERVOGT, F.J.: Über den Gaswechsel im Kohlensäurebad.
   Z.f.Kreislaufforschung, 43, 369 (1954)

10. EVERS, A.: Bäderbehandlung herzkranker Rheumatiker.
    Dtsch.med.Wschr., 697 (1953) I

11. FEY, C.: Hydrotherapie unter modernen pathologisch-physiologischen Gesichtspunkten.
    Hippokrates, 28, 235 (1957)

12. FISCHER, L.: Über Änderungen des Gefäßtonus im Kohlensäure-Solbad.
    Z.f.physikal.Therap., 45, 255 (1933)

13. FISCHER, L.: Untersuchungen über die Gefäßwirkungen des natürlichen Nauheimer Kohlensäure-Solbades.
Arch.f.klin.Med., 179, 373 (1936)

14. FRANKE, M.: Die Balneologie in der Behandlung der Herz- und Kreislauferkrankungen.
Fortbildung für Ärzte des öffentl.Gesundheitsdienstes in Hessen. Bad Orb, 28./29.10.1965

15. FRANKE, M.: Die CO_2-Badetherapie bei Herz- und Kreislauferkrankungen.
Dtsch.med.Wschr., 2218 (1966) I

16. FRANKE, M. u. DÜRR, F.: Verhalten des Säure-Basen-Haushaltes im Blut unter dem Einfluß von CO_2-Bädern.
Z.f.angew.Bäder- und Klimaheilkde., H.13, 51 (1966)

17. FRANKE, M. u. LECHER, W.: Zur Behandlung der essentiellen Hypertonie.
Therap.d.Gegenwart, 5, 238 (1962)

18. FRANKE, M., NIETH, H., KAUFMANN, W.: Über die Wirkung balneotherapeutischer Maßnahmen auf die Kreislaufhämodynamik unter besonderer Berücksichtigung der Nierenfunktion.
Z.f.angew.Bäder- und Klimaheilkde., H.4/5, 13 (1966)

19. GAUER: zitiert nach GOLLWITZER-MEIER, KL. in: Beiträge zur Wärmeregulation auf Grund von Bäderwirkungen.
Klin.Wschr. 1418 (1937) II

20. GOLLWITZER-MEIER, Kl.: Über Beziehungen zwischen Gaswechsel und Herzminutenvolumen in Bädern verschiedenen Wärmegrades.
Der Balneologe, 4, 58 (1937)

21. GOLLWITZER-MEIER, Kl.: Zur Frage der Wirkung des Kohlensäurebades auf die Herzgenetik.
Der Balneologe, 5, 434 (1938)

22. GOLLWITZER-MEIER, Kl.: Untersuchungen über künstliche Kohlensäurebäder.
Der Balneologe, 6, 391 (1939)

23. GOLLWITZER-MEIER, Kl.: Eigen- und Fremdreflexe des Kreislaufs und ihre Beeinflussung durch das Bad.
Arch.physik.Therap., 2, 329 (1950)

24. GOLLWITZER-MEIER, Kl.: Wissenschaftliche Grundlagen der Balneotherapie peripherer Durchblutungsstörungen.
Dtsch.med.Wschr., 853 (1952) I

25. GOLLWITZER-MEIER, Kl. u. LERCHE, E.: Reflektorischer und zentraler Anteil der Kohlensäurewirkung auf die Atmung.
Pflüg.Arch.f.d.ges.Physiologie, 244, 145 (1941)

26. GROEDEL, F.M.: Die physikalische Therapie der Herz-, Gefäß- und Zirkulationsstörungen.
Berlin, Springer-Verlag 1925

27. GROEDEL, F.M. u. McCELLAN, W.: Fortlaufende Blutdruckkontrolle während des Bades.
Z.f.physik.Therap., 44, 211 (1933)

28. HAEUSSLER, H.: Über die Kohlensäurediffusion durch die menschliche Haut.
Pflüg.Arch.f.d.ges.Physiologie, 237, 448 (1936)

29. HEDIGER, St.: Die Kohlensäurebäder und ihre Wirkung auf die Zirkulation.
Schweiz.med.Wschr., 2, 151 (1921)

30. HEDIGER, St.: Wundtherapie und Kohlensäure-Gasbäder.
Klin.Wschr. 1452 (1929)

31. HERKEL, W.: Der Einfluß des Bades auf die Austreibungszeit des Herzens.
Der Balneologe, 5, 549 (1938)

32. HERKEL, W.: Untersuchungen zur Dynamik des Kreislaufs unter der Einwirkung verschiedener Bäderformen.
Arch.f.Kreislaufforschung, 4, 313 (1939)

33. HILDEBRANDT, G.: Über die Variabilität des Pulsrhythmus (Pulsperiodenstreuung) und ihre Beeinflussung durch die Kohlensäure-Badekur.
Arch.f.physik.Therap., 11, 132 (1959)

34. HILDEBRANDT, G.: Balneologie und vegetative Regulation.
Die Therapiewoche, 9, 465 (1958/59)

35. HILDEBRANDT, G. u. GEHLKEN, K.: Aktuelle Probleme der Balneologie.
Ärztliche Forschung, 15, 76 (1961)
Ärztliche Praxis, 13, 453 (1961)

36. HILLER, E.: Untersuchungen zur Wirkungsweise balneologischer Maßnahmen.
Münch.med.Wschr., 96, 629 (1954)

37. HORNBACHER, W.: Zur Wirkungsweise und therapeutischen Anwendung von Kohlensäure-Gasbädern.
Münch.med.Wschr., 597 (1966)

38. JECKEL, P.: Experimenteller Beitrag zur Diffusionsfrage der Kohlensäure.
Z.physik.Therap., 45, 197 (1933)

39. KRAMER, K. u. SARRE: Untersuchungen über die Kohlensäurediffusion durch die Haut.
Arch.exp.Pathol., 180, 545 (1935)

40. KRETSCHMER und WESSEL: Untersuchungen über die Wirkung der Kohlensäure auf den menschlichen Körper.
Z.f.physik.Therap., 37, 38 (1929)

41. KROETZ, Ch. u. WACHTER, R.: Wirkung der Bäder auf das Herzminutenvolumen.
Klin.Wschr., 1517 (1933) II

42. KRÜGER, E. u. BUDELMANN, G.: Über den Einfluß des indifferenten Bades auf den intrapleuralen Druck und Venendruck.
Arch.exp.Path.Pharm., 181, 545 (1936)

43. KUDERNA, A.: Erfahrungen mit den Kohlensäure-Gasbädern in Bad Schönau.
Wien.med.Wschr., 108, 367 (1958)

44. KUHNAU, J.: Probleme der modernen Balneologie.
Medizinische, 559 (1952)

45. LANGE, F. u. STÖRMER, A.: Kohlensaure Wasserbäder bei Hypertonie.
Z.f.Kreislaufforschung, 19, 745 (1927)

46. LANGEBARTELS, E.: Über den Einfluß natürlicher CO_2-Kochsalzthermen auf Puls, Blutdruck und Atemfrequenz.
Med.Diss. Gießen, 1930

47. LILJESTRAND, G. u. MAGNUS, R.: Versuche über die Wirkung der Kohlensäure-Bäder in St. Moritz.
Schweiz.med.Wschr., 2, 1109 (1921)

48. LILJESTRAND, G. u. MAGNUS, R.: Die Wirkung der Kohlensäurebäder beim Gesunden . ...
Pflüg.Arch.f.d.ges.Physiol., 193, 527 (1922)

49. LINDENBERG, H.: Klinische Beobachtungen über das Verhalten des Kreislaufs unter Behandlung mit Kohlensäure-Gasbädern.
Arch.f.physikal.Therap., 9, 103 (1957)

50. MEYER, G., SCHLEPPER, M. u. WITZLEB, E.: Probleme bei der Durchführung von Kohlensäure-Dampfbädern.
Z.f.angew.Bäder- und Klimaheilkde., H.4, 13 (1966)

51. MIELKE u. SCHÄFER, W.: Zur Dosierung von Kohlensäure-Bädern.
Arch.f.physikal.Therap., 9, 103 (1957)

52. MÜLLER, O.: Über den Einfluß von Bädern und Douchen auf den Blutdruck beim Menschen.
Arch.f.klin.Med., 74, 316 (1902)

53. OTT, V.: Stellung und Aufgaben der Balneologie in der gegenwärtigen Medizin.
Münch.med.Wschr., 102, 520 (1960)

54. OTT, V. u. HENTSCHEL, R.: Physikalische Medizin und Balneologie.
Klinik der Gegenwart, VIII, 691 (1959)

55. PALME, U.: Kreislaufwirkungen von Kohlensäure-Gasbädern.
Dtsch. Bäderverband H. 9, 54 (1953)

56. PARADE, G. W.: Kohlensäuregasbäder und periphere Durchblutungsstörungen.
Arch. f. physik. Therap., 7, 118 (1955)

57. PEEMÖLLER, F. u. LUND, O.: Über Bäderwirkungen.
Arch. exp. Path. u. Pharm., 178, 86 (1935)

58. PIETSCH, P. F.: Kohlensäuregasbad und EKG.
Med. Diss. 1939, Breslau

59. REICHEL, H. u. PALME, U.: Erfahrungen mit der Kohlensäure-Gasbadebehandlung.
Arch. f. physik. Therap., 4, 303 (1952)

60. SCHEINER, H.: Über eine Capillarreaktion im Kohlensäure-Solbad.
Klin. Wschr., 461 (1932) I

61. SCHINDEWOLF, G. u. WEIGMANN, R.: Über die Wirkung der Kohlensäure auf die Thermoreceptoren der Haut.
Klin. Wschr., 547 (1952) I

62. SCHNELLE, K. W.: Experimentelle klinische Untersuchungen über Kohlensäure-Gasbäder.
Arch. f. physikal. Therap., 6, 259 (1954)

63. SCHOLTZ, H. G.: Gryptotonographische Untersuchungen bei Kohlensäurebädern.
Z. f. physikal. Therap., 45, 21 (1933)

64. SCHOTT, A.: Die Wirkung der Bäder auf das Herz.
Berl. klin. Wschr., 17, 357 (1880)

65. SCHOTT, A.: Zur Therapie der chronischen Herzkrankheiten.
Berl. klin. Wschr., 22, 524 (1885)

66. SCHOTT, E.: Die hydrostatische Druckwirkung auf das venöse System als additioneller Faktor bei der Wirkung von Bädern.
Arch. f. klin. Med., 140, 358 (1922)

67. SCHOTT, E.: Über Kreislaufwirkungen von indifferenten Bädern.
Dtsch. med. Wschr., 933, (1923)

68. SCHULTZ, W. u. AMELUNG, W.: Vergleichende Untersuchungen der wirksamen Faktoren des Kohlensäuregasbades.
Arch. f. physikal. Therap., 9, 317 (1957)

69. STEIN, E.: Kohlensäurebäder.
In Handbuch der Bäder- und Klimaheilkunde; Hrsg. W. Amelung und Ewers, Schattauer-Verlag, Stuttgart, 1962

70. STRASBURGER, J.: Über Blutdruck, Gefäßtonus und Herzarbeit bei Wasserbädern verschiedener Temperatur und bei kohlensäurehaltigen Thermalsolbädern.
Dtsch.Arch.f.klin.Med., 82, 459 (1905)

71. STRASBURGER, J.: Untersuchungen über das Verhalten des Zirkulationsapparates bei natürlichen kohlensäurehaltigen Solbädern.
Med.Klinik, 978 (1914)

72. SUGIYAMA: Therapie der Hypertonie durch allmählich ansteigende Teilbäder.
Z.f.angew.Bäder- und Klimaheilkde., H.9, 168 (1962)

73. UDE, H.: Wirkung von Bädern auf die Blutumlaufzeit.
Z.f.physikal.Therap., 42, 13 (1932)

74. v. UEXKÜLL, Th. u. KILLING, F.: Ein Apparat zur fortlaufenden unblutigen Registrierung von Puls und Blutdruck.
Münch.med.Wschr., 101, 380 (1959)

75. v. UEXKÜLL, Th. u. WICK, E.: Erfahrungen mit automatisch registrierenden Blutdruckapparaten.
Z.f.Kreislaufforschung, 51, 184 (1962)

76. VOGT, H.: Lehrbuch der Bäder- und Klimaheilkunde.
Bd. I, Berlin 1940

77. WACHTER, R.: Zur Dosierung des Kohlensäurebades.
Arch.f.physikal.Therap., 7, 156 (1955)

78. WEBER, A.: Behandlung von Kreislaufstörungen mit CO_2-Bädern.
Nauheimer Fortbildungslehrgänge, Bd. XII, 110 (1936)

79. WEBER, A.: Fortschritte auf dem Gebiet der Kreislauferkrankungen.
Nauheimer Fortbildungslehrgänge, Bd. XV, 72 (1950)

80. WEBER, A.: Behandlung der Hypertonie mit CO_2-Bädern.
Dtsch.med.Journal 5, 612 (1954)

81. WEBER, E.: Die Wirkung natürlicher und künstlicher Kohlensäurebäder bei Herzkranken.
Dtsch.med.Wschr. 1233 (1918) II

82. WEIGMANN, R.: Experimentelle Untersuchungen zur CO_2- und H_2S-Wirkung auf Hautsinnesorgane.
Arch.f.physikal.Therap. 5, 144 (1953)

83. WIESNER, J.: Neue Untersuchungen über Kohlensäure-Gasbäder.
Arch.f.physik.Therap. 3, 172 (1951)

84. WINTERNITZ, H.: Über die Wirkung verschiedener Bäder, insbesondere auf den Gaswechsel.
Dtsch.Arch.klin.Med. 72, 258 (1901)

85. WITZLEB, E.: Die Erregung der Pressoreceptoren im Carotissinus unter dem Einfluß hydrostatischer Druckwirkung auf den Thorax.
Arch.f.physik.Therap. 7, 129 (1955)

86. WITZLEB, E.: Über die Balneotherapie der peripheren Durchblutungsstörungen.
Arch.f.physik.Therap. 7, 101 (1955)

87. WITZLEB, E.: Kohlensäurewässer.
In Handbuch der Bäder- und Klimaheilkunde; Schattauer-Verlag, Stuttgart 1962

88. ZÖRKENDÖRFER, W.: Wärmeverhalten und Temperaturdosierung bei Kohlensäure-Gasbädern.
Arch.f.physik.Therap. 7, 129 (1955)

Mein Dank gilt Herrn Professor Dr. Dr. h.c. H.E. Bock, dem Direktor der Medizinischen Universitätsklinik Tübingen, für die Möglichkeit, an seiner Klinik die vorliegende Dissertation zu verfassen.

Herrn Priv.-Dozent Dr. M. Franke darf ich meinen besonders herzlichen Dank sagen für die Überlassung des Themas und für seinen Rat bei der Durchführung der Arbeit.

Die Unterstützung bei der statistischen Auswertung verdanke ich Frau Professor Dr. P. Geppert und Herrn Dipl.-Mathematiker Gulbinat vom Biometrischen Institut Tübingen.

Lebenslauf

Am 11. Juni 1941 wurde ich, Gisela Traub, als Tochter des Kaufmanns Wilhelm Traub und seiner Ehefrau Hedwig, geb. Fuchs, in Aalen geboren.

Ich besuchte in Aalen ab 1947 die Volksschule, von 1951 bis 1957 das Mädchen-Pro-Gymnasium und setzte am Schubart-Gymnasium meine Schulzeit fort. Im März 1960 bestand ich die Reifeprüfung.

In Freiburg i. Br. begann ich 1961 das Medizinstudium und bestand dort 1962 das Vorphysikum.

Ab Wintersemester 1962/63 studierte ich in Tübingen, legte 1965 das Physikum ab und beendete am 18. Februar 1969 das Staatsexamen.